



(21) Aktenzeichen: 197 09 190.3

(22) Anmeldetag: 8. 3. 97

(23) Offenlegungstag: 18. 12. 97

## (30) Unionspriorität:

8-151357 12.06.96 JP

## (71) Anmelder:

Japan Science and Technology Corp., Kawaguchi,  
 Saitama, JP; Saito, Nagao, Kasugai, Aichi, JP;  
 Mouri, Naotake, Nagoya, Aichi, JP; Mitsubishi Denki  
 K.K., Tokio/Tokyo, JP

## (74) Vertreter:

HOFFMANN - EITLE, 81925 München

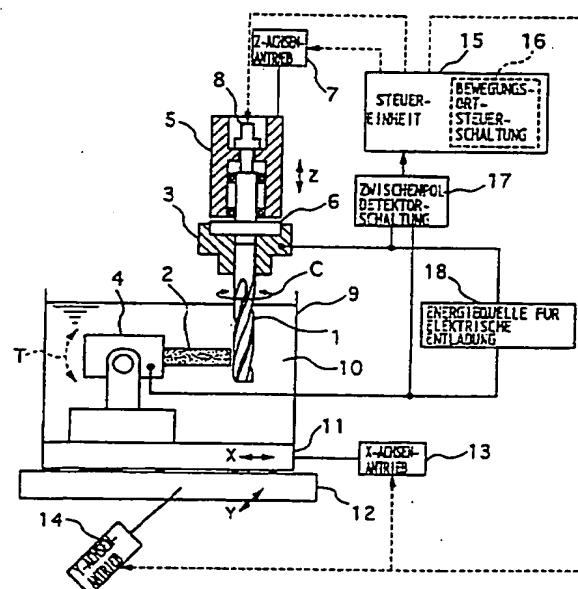
## (72) Erfinder:

Saito, Nagao, Kasugai, Aichi, JP; Mouri, Naotake,  
 Nagoya, Aichi, JP; Miyake, Hidetaka, Tokio/Tokyo,  
 JP; Miyake, Yoshihito, Tokio/Tokyo, JP; Magara,  
 Takuji, Tokio/Tokyo, JP; Goto, Akihiro, Tokio/Tokyo,  
 JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

## (54) Oberflächenbehandlungsverfahren und Gerät für elektrische Entladungsbearbeitung

(55) Ein Oberflächenbehandlungsgerät dreht ein umlaufendes Werkzeug (1) und bewegt eine Oberflächenbehandlungselektrode (2, 42, 52, 62, 72, 92) relativ zu dem Werkzeug (1) über einen Drehwellenantrieb und einen Z-Achsenantrieb. Eine Energiequelle (18) führt eine Spannung zum Erzeugen einer elektrischen Entladung zwischen dem Werkzeug (1) und der Elektrode (2, 42, 52, 62, 72, 92) zu, wodurch eine Reformierschicht an einer Randfläche (1a) und einer Randfläche (1b) des Werkzeugs (1) gebildet wird.



## Beschreibung

Die vorliegenden Erfindung betrifft ein Oberflächenbehandlungsverfahren und ein Gerät, das eine elektrische Entladungsbearbeitung einsetzt, angewandt auf eine Oberflächenbehandlung eines Schneidkantenabschnitts einer Schneidkante, beispielsweise eines umlaufenden Werkzeugs bzw. eines Bohrwerkzeugs. Insbesondere betrifft sie ein Oberflächenbehandlungsverfahren und ein Gerät zum Formen einer Reformierschicht bei einem Schneidwerkzeug.

Eine japanische Patentveröffentlichung (Kokai) 7-112329 offenbart ein Verfahren und ein Gerät zum Formen einer Reformierschicht aus einem Zahn oder einem Schneidkantenabschnitt eines Bohrwerkzeugs durch Einsatz einer elektrischen Entladungsbearbeitung. Diese Offenbarung zeigt eine nachfolgend beschriebene Technik.

Fig. 25 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbearbeitungsgeräts nach dem Stand der Technik.

Unter Bezug auf die Fig. 25 erfolgt die Durchführung der Oberflächenbearbeitung bei einem Drehschneidwerkzeug 101, beispielsweise einem Schaftfräser, einem Spiralbohrer oder dergleichen. Ein roher Kompaktblock 102 wird durch Pressen von Pulver aus einem Reformiermaterial geformt. Das Reformiermaterial ist durch Sintern von Pulver aus Wolframkarbid (WC)-gemischt mit Kobalt (Co)-Pulvern hergestellt. Eine Hauptwelle 103 bewegt das umlaufende Schneidwerkzeug 101 vertikal oder entlang einer Z-Achsenrichtung. Der rohe Kompaktblock 101 wird an einem Bearbeitungsgefäß 104 fixiert, das mit einem Bearbeitungsfluid 105 für eine elektrische Entladungsbearbeitung gefüllt ist. Eine elektrische Entladungsgesamtquelle 106 führt eine Spannung zwischen dem umlaufenden Schneidwerkzeug 101 und dem rohen Kompaktblock 102 zu. Eine Zwischenpol-Detektoreinrichtung detektiert eine Zwischenpolspannung oder einen Kurzschluß zwischen dem umlaufenden Schneidwerkzeug 102 und dem rohen Kompaktblock 101. Eine Steuereinheit 108 steuert eine Relativbewegungsgeschwindigkeit zwischen dem Schneidwerkzeug 101 und dem rohen Kompaktblock 102 anhand eines Detektionsergebnisses der Zwischenpol-Detektoreinrichtung 107. Eine Z-Achsen-Antriebseinrichtung 109 treibt die Hauptwelle 103 vertikal oder in Z-Achsenrichtung zusammen mit dem Schneidwerkzeug 101. Eine X-Achsen-Antriebseinrichtung 101 treibt das Bearbeitungsgefäß 104 in X-Achsenrichtung zusammen mit dem rohen Kompaktblock 102 an. Eine X-Achsen-Antriebseinrichtung 111 treibt das Bearbeitungsgefäß 104 entlang einer Y-Achsenrichtung zusammen mit dem rohen Kompaktblock 102 an. Eine Drehantriebseinrichtung 112 ist der Z-Achsen-Antriebseinrichtung 109 zugeordnet, und sie dreht sich mit dem Schneidwerkzeug 101.

Ein Betrieb eines derartigen Oberflächenbehandlungsgeräts gemäß dem Stand der Technik wird im folgenden beschrieben.

Das Schneidwerkzeug 101 wird auf der Hauptwelle 103 gehalten und durch die Antriebs-Treibereinrichtung 112 angetrieben. Anschließend werden das Schneidwerkzeug 101 und der rohe Kompaktblock 102 relativ zueinander bewegt, und zwar durch die X-Achsen-Antriebseinrichtung 110, die Y-Achsen-Antriebseinrichtung 111 und die Z-Achsen-Antriebseinrichtung 109, derart, daß das Schneidwerkzeug 101 den rohen Kompaktblock 102 schneidet. Detaillierter schneidet es in einem Fall, in dem das Schneidwerkzeug 101 ein Stirn-

fräser ist, den Block 102 hauptsächlich in einer Breitenrichtung (X-Achsenrichtung und Y-Achsenrichtung). Ist das Schneidwerkzeug 101 ein Spiralbohrer, so schneidet es den Block 102 entlang einer Axialrichtung (Z-Achsenrichtung). Zu diesem Zeitpunkt führt die Energieversorgung 106 eine Spannung für die elektrische Entladung zwischen dem Schneidwerkzeug 101 und dem rohen Kompaktblock 102 zu. Demnach wird dann, wenn der Schneidprozeß voranschreitet und der Kontakt zwischen dem Schneidwerkzeug 101 und dem rohen Kompaktblock 102 zueinander unterbrochen wird, eine elektrische Entladung bei einer Lücke zwischen diesen erzeugt. Das Reformiermaterial (WC) strömt in der Form als Pulver bei der Lücke aufgrund der Schneidbearbeitung. Demnach werden Pulver aus WC an einer Oberfläche im Umfeld einer Schneidkante des Schneidwerkzeugs 101 gemischt. Eine Zufüggeschwindigkeit des Schneidwerkzeugs 101 wird geeignet derart gesteuert, daß der Schneidvorgang und die elektrische Entladung der Reihe nach durchgeführt werden. Somit wird die Oberflächenbearbeitung fortlaufend durchgeführt, und die Reformierschicht mit der Legierung aus WC wird einheitlich auf dem Schneidkantenabschnitt, wie zuvor erwähnt, gebildet.

Insbesondere offenbart die obige Veröffentlichung ein Verfahren, bei dem eine elektrische Entladung durchgeführt wird, während der Block, der ein Beschichtungsmaterial enthält, durch das Schneidwerkzeug geschnitten wird. Bei diesem Verfahren wird die Reformierschicht bei dem Schneidrandabschnitt des Schneidwerkzeugs durch Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen dem Block und dem Schneidkantenabschnitt gebildet.

Dieses Verfahren kombiniert zwei widersprüchliche Bearbeitungsprozesse: den Schneidprozeß, bei dem der Block und der Schneidrand des Werkzeugs in Kontakt zueinander gelangen, und den elektrischen Entladungsprozeß, bei dem der Block mit der Schneidkante des Werkzeugs nicht in Kontakt sind. Jedoch wird die elektrische Entladungsbearbeitung dann durchgeführt, wenn eine geeignete Lücke zum Erzeugen der elektrischen Entladung durch das Schneiden gebildet ist, und zwar zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs und dem Block. Insbesondere wird die elektrische Entladungsbearbeitung zufällig durchgeführt, abhängig von dem Schneidvorgang, und sie läßt sich nicht steuern. Deshalb ist es schwierig, eine stabile Bearbeitung zu erreichen und eine einheitliche Reformierschicht bei dem Schneidrandabschnitt des Werkzeugs zu erzeugen.

Weiterhin wird die Schneidkante des Werkzeugs durch Reibung gegenüber dem Block während des Schneidprozesses gerieben, so daß die Schneidkante durch eine konzentrierte elektrische Entladung bei dem elektrischen Entladungsprozeß stumpf wird.

Dann ist es erforderlich, den Schneidrandabschnitt, an dem die Reformierschicht aufgebaut wird, zu schleifen. Ferner erfordert das Oberflächenbehandlungsgerät eine mechanische Steifigkeit, die diejenige einer normalen elektrischen Entladungsmaschine übersteigt, aufgrund eines Schnittwiderstands, der erzeugt wird, wenn das umlaufende Werkzeug den Block schneidet, der das Reformiermaterial enthält.

Eine Aufgabe der Erfindung besteht in der Schaffung eines Oberflächenbehandlungsverfahrens und -geräts, mit dem sich eine Reformierschicht einheitlich an einem Schneidrandabschnitt eines Werkzeugs bilden läßt, zur erheblichen Verbesserung einer Werkzeulebensdauer lediglich durch eine elektrische Entladungsbearbeitung.

tung, bei Verbesserung der Schärfe des Schneidrands.

Gemäß einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Oberflächenbehandlungsverfahren mit elektrischer Entladungsbearbeitung geschaffen, das eine Reformierschicht an einem Zahn eines umlaufenden Werkzeugs bildet, durch eine Oberflächenbehandlungselektrode, die aus einem Reformiermaterial hergestellt ist. Die Oberflächenbehandlungselektrode ist gegenüber zu dem Zahn plaziert. Die Oberflächenbehandlungselektrode wird relativ entlang dem Zahn bewegt, während eine elektrische Entladung zwischen dem Zahn und der Oberflächenbehandlungselektrode erzeugt wird. Hierdurch wird die Reformierschicht an dem Zahn gebildet.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird ein Oberflächenbehandlungsgerät aufgrund einer elektrischen Entladungsbearbeitung geschaffen. Das Gerät enthält ein umlaufendes Werkzeug mit einem Zahn. Eine Oberflächenbehandlungselektrode, die aus einem Reformiermaterial hergestellt ist, bildet eine Reformierschicht an dem Zahn. Ein Relativbewegungsantrieb bewirkt die Drehung des umlaufenden Werkzeugs und bewegt dieses relativ zur Oberflächenbehandlungselektrode entlang dem Zahn, während es die Oberflächenbehandlungselektrode gegenüber dem Zahn plaziert. Eine elektrische Entladungsenergiequelle führt eine Spannung zwischen dem Zahn und der Oberflächenbehandlungselektrode zu.

Weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung ergeben sich anhand der folgenden Beschreibung unter Bezug auf die beiliegende Zeichnung, in der bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung klar gezeigt sind; es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts auf der Grundlage einer elektrischen Entladungsbearbeitung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 eine erläuternde Ansicht zum Darstellen eines Hauptabschnitts, d. h. eines Schneidrandabschnitts eines umlaufenden Werkzeugs, der durch das Oberflächenbehandlungsgerät der ersten Ausführungsform bearbeitet wird;

Fig. 3 eine Vorderansicht zum Darstellen einer Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs und einer Oberflächenbehandlungselektrode des Oberflächenbehandlungsgeräts der ersten Ausführungsform;

Fig. 4 eine Vorderansicht zum Darstellen einer Beziehung zwischen einem umlaufenden Werkzeug und einer Oberflächenbehandlungselektrode bei einem Oberflächenbehandlungsgerät bei einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 5 eine Seitenansicht zum Darstellen einer Beziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der in Fig. 4 gezeigten Oberflächenbehandlungselektrode;

Fig. 6 eine Vorderansicht zum Darstellen eines Zustands nach einer Veränderung der Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode;

Fig. 7 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer Positionsbeziehung zwischen einer Mittenschleife eines umlaufenden Werkzeugs und einer Oberflächenbehandlungselektrode, bei einer horizontalen Ebene, gemäß der zweiten Ausführungsform eines Oberflächenbehandlungsgeräts auf der Basis einer elektrischen Entladungsbearbeitung nach der Erfindung;

Fig. 8 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und einer Außendurchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene;

Fig. 9 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und einer Außendurchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene, derart, daß die Elektrode innerhalb eines Drehorts eines Schneidrands fortschreitet;

Fig. 10 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und einer Außendurchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene, derart, daß die Elektrode in Kontakt zu dem Schneidrand gelangt;

Fig. 11 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen eines Positionsbeziehungen zwischen dem Schneidrand und dem umlaufenden Werkzeug und einer Außendurchmesserlinie bei der Oberflächenbehandlungselektrode;

Fig. 12 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer Winkelbeziehung zwischen einer Randflanke des umlaufenden Werkzeugs und einer Längsabschlußoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode;

Fig. 13 eine erläuternde Querschnittsansicht zum Darstellen einer parallelen Beziehung zwischen einer Randflanke des umlaufenden Werkzeugs und einer Längsabschlußoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode;

Fig. 14 eine erläuternde Ansicht eines Betriebs zum Aufbauen einer Reformierschicht bei einer Randflanke des umlaufenden Werkzeugs;

Fig. 15 einen ersten Teil eines Flußdiagramms eines Programms zum Aufbauen der Reformierschicht beim Festlegen einer Beziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode nach der zweiten Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts;

Fig. 16 einen zweiten Teil des Flußdiagramms des Programms zum Aufbauen der Reformierschicht beim Festlegen einer Beziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode nach der zweiten Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts;

Fig. 17 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 18 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 19 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 20 eine schematische Ansicht zum Darstellen eines Hauptabschnitts eines Oberflächenbearbeitungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 21 eine schematische Ansicht zum Darstellen eines Hauptabschnitts eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer siebten Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 22 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung ge-

mäß einer achtten Ausführungsform der Erfahrung;

Fig. 23 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer neunten Ausführungsform der Erfahrung;

Fig. 24 eine schematische Ansicht zum Darstellen eines Hauptabschnitts eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer zehnten Ausführungsform der Erfahrung;

Fig. 25 eine schematische Ansicht zum Darstellen einer Gesamtstruktur eines Oberflächenbearbeitungsgeräts nach dem Stand der Technik.

Mehrere bevorzugte Ausführungsformen eines Oberflächenbehandlungsverfahrens und -geräts der Erfahrung werden hier nachfolgend unter Bezug auf die Zeichnung beschrieben. In der Zeichnung kennzeichnen die gleichen Bezugsbuchstaben und -zeichen die gleichen oder entsprechende Elemente, die gemeinsam in den Ausführungsformen genutzt werden, und deren Beschreibung wird weggelassen, um Redundanz zu vermeiden.

#### Erste Ausführungsform

Die Fig. 1 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfahrung. Die Fig. 2 zeigt einen Hauptabschnitt oder einen Schneidrandabschnitt eines umlaufenden Werkzeugs, das durch das Oberflächenbehandlungsgerät der ersten Ausführungsform bearbeitet wird.

Nach der Fig. 1 und 2 erfolgt die Oberflächenbearbeitung bei einem umlaufenden Werkzeug 1, beispielsweise einem Stirnfräser, einem Spiralbohrer oder dergleichen. Eine Oberflächenbehandlungselektrode 2 ist aus einer Komponente hergestellt, die eine Reformierschicht bildet, beispielsweise TiC, TiH<sub>2</sub> oder dergleichen. Die Elektrode kann durch Sintern der Pulver des Reformiermaterials (WC oder dergleichen) gebildet werden, gemäß dem Stand der Technik. Das umlaufende Werkzeug 1 wird durch ein Spannfutter 3 gehalten. Die Oberflächenbehandlungselektrode 2 wird koaxial an einem Elektrodenhalter 4 gehalten. Eine Hauptwelle 5 bewegt das umlaufende Werkzeug 1 in einer Z-Achsenrichtung. Eine Drehwelle 6 dreht das umlaufende Werkzeug 1 entlang einer Umfangsrichtung C um dessen Mittenachse (im folgenden als C-Achse bezeichnet). Ein Z-Achsenantrieb 7 treibt die Hauptwelle 5 vertikal oder die Z-Achsenrichtung zusammen mit dem umlaufenden Werkzeug 1 an. Ein Drehwellenantrieb 8, bestehend aus einem Motor oder dergleichen, treibt die Drehwelle 6 an. Der Elektrodenhalter 4 ist an der Innenseite eines Bearbeitungsgefäßes 9 fixiert, das ein Bearbeitungsfluid 10 für eine elektrische Entladungsbearbeitung enthält. Der Bearbeitungsbehälter 9 lässt sich horizontal in der X-Achsenrichtung durch einen X-Tisch 11 bewegen, und in der Y-Achsenrichtung durch einen Y-Tisch 12. Ein X-Achsenantrieb 13 treibt den X-Tisch 11 in der X-Achsenrichtung an. Ein Y-Achsenantrieb 14 treibt den Y-Tisch 12 in der Y-Achsenrichtung an. Eine Steuereinheit 15 besteht aus einem Computer oder dergleichen. Eine Ortsbewegungs-Steuerschaltung 16 ist in der Steuereinheit 15 vorgesehen. Die Ortsbewegungs-Steuerschaltung 16 steuert eine Bewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 derart, daß eine Entladungsoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode 2 einer Randflanke oder einem Schneidrandabschnitt des Werkzeugs 1 folgt. Die Ortsbewegungs-Steuerschal-

tung 16 entspricht einer normalen numerischen Steuerschaltung. Eine Zwischenpol-Detektorschaltung 17 detektiert eine Zwischenpolspannung (Spannung zwischen den Elektroden) oder einen Kurzschluß zwischen dem umlaufenden Werkzeug 1 (einer Elektrode) und der Oberflächenbehandlungselektrode 2 (Gegenelektrode). Eine elektrische Entladungsenergiequelle 18 führt eine Spannung zwischen dem umlaufenden Werkzeug 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 2 zu. Die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 bestimmt die Zwischenpolspannung oder den Kurzschluß anhand eines Spannungsabfalls bei einem internen Widerstand der Energiequelle 18. Die Energiequelle 18 enthält einen Entladungswiderstand und dergleichen, obgleich nicht gezeigt.

Das umlaufende Werkzeug 1 führt eine Relativbewegung zu der Oberflächenbehandlungselektrode 2 vertikal oder entlang der Z-Achsenrichtung über das Spannfutter 3 durch. Der Elektrodenhalter 4 ist bei einer festgelegten Position an dem X-Tisch 11 fixiert. Hierdurch läßt sich die Position der Elektrode 2 durch die Steuereinheit 15 dadurch steuern, daß der X-Tisch 11 und der Y-Tisch 12 in X-Achsenrichtung und Y-Achsenrichtung über den X-Achsenantrieb 13 und den Y-Achsenantrieb 14 bewegt werden. Die Befestigungsposition des Elektrodenhalters 4 an dem X-Tisch 11 wird so angeglichen, daß die Achse der Elektrode 2 sich in X-Achsenrichtung erstreckt. Somit können das umlaufende Werkzeug 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode 2 in gesteueter Weise eine Relativbewegung entlang einer oder zweiter oder dreier Achsenrichtungen gemäß der X-Achsen- und Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung gleichzeitig durchführen. Bei dieser Ausführungsform hält der Elektrodenhalter 4 die Oberflächenbehandlungselektrode 2 derart, daß sie sich rechtwinklig zu der Z-Achsenrichtung und parallel zu der X-Achsenrichtung erstreckt. Jedoch kann der Elektrodenhalter 4 in einer Neigungsrichtung (vertikale Richtung) T mit fixiertem Abstand zu dem umlaufenden Werkzeug 1 neigbar sein. In diesem Fall ist es möglich, daß eine Randflanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 um einen festgelegten Winkel bezogen auf dessen Mittenachse 0-0 (vgl. Fig. 3) schräggestellt ist.

Der Drehwellenantrieb 8 und der Z-Achsenantrieb 7 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die relative Bewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 2 nach dieser Ausführungsform.

Wie in Fig. 2 gezeigt, ist das umlaufende Werkzeug 1 in dieser Ausführungsform mit einer Randflanke 1a ausgebildet, die eine Oberfläche mit einem Freiwinkel (Randanstellwinkel)  $\beta$  ist, angeordnet bei einem Schneidrandabschnitt eines Schneidzahns. Das umlaufende Werkzeug 1 weist eine Räumfläche 1b auf, die eine Oberfläche ist, die einen Anschnittswinkel definiert, unmittelbar neben der Flanke 1a mit einem Werkzeugwinkel  $\gamma$  plaziert. Das Werkzeug 1 enthält eine schraubenförmige Spannut 1c, die in einer festgelegten ebenen Form ausgebildet ist, beispielsweise einer schraubenförmigen Form oder einer geraden Form.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts dieser Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Das umlaufende Werkzeug 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode 2 werden relativ zueinander bewegt, durch den Z-Achsenantrieb 7, den X-Achsenantrieb 13 und den Y-Achsenantrieb 14, wodurch deren Relativpositionen so festgelegt sind, daß eine durch die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 definierte Entla-

dungsoberfläche parallel der Flanke 1a des Werkzeugs 1 mit fixiertem Abstand gegenüberliegt. In dem Fall, in dem das umlaufende Werkzeug 1 eine Randflanke mit bogenförmiger Form aufweist, beispielsweise einem exzentrischen Schneidrand, hergestellt durch eine exzentrische Reliefschärfung (relief sharpening), ist die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 so festgelegt, daß sie parallel zu einer Ebene zu liegen kommt, die eine Tangente der bogenförmigen Flanke enthält. Der obige Abstand ist ein Abstand, durch den eine elektrische Entladung zwischen der Flanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Endoberfläche 2a der Oberflächenbehandlungselektrode 2 gebildet wird. Die Position (Anfangseinstellung) der Elektrode 2, insbesondere die Z-Achsenposition der Endoberfläche 2a in diesem Zeitpunkt kann wie gewünscht ausgewählt werden. Jedoch ist eine höchstmögliche oder niedrigste Endposition der Flanke 1a vorzuziehen. Die obige Positionseinstellung wird beispielsweise durch Einsatz der Steuereinheit 15 und der Zwischenpol-Detektorschaltung 17 durchgeführt.

Anschließend wird das durch das Spannfutter 3 gehaltene Werkzeug 1 durch den Drehwellenantrieb 8 zusammen mit der Drehwelle 6 gedreht, bei gleichzeitiger Vertikalbewegung durch den Z-Achsenantrieb 7 zusammen mit der Hauptwelle 5. In diesem Zeitpunkt sind die Vertikalbewegung und die Drehung des Werkzeugs 1 durch die Steuerung der Ortsbewegungs-Steuerschaltung 16 synchronisiert. Der Synchronisierbetrieb erfolgt derart, daß die Entladeoberfläche der Elektrode 2 sich entlang einem Helixort (Helixwinkel  $\theta$ ) des Schneidrands des bearbeiteten Werkzeugs bewegt. Für diesen Zweck ist ein Drehumfang der Drehwelle 6 so festgelegt, daß er einem Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 entspricht (ein Vorschubumfang gemäß einer festgelegten Schneidrandlänge in axialer Richtung des Werkzeugs 1). Ein derartiger festgelegter Umfang ist in der Ortsbewegungs-Steuerschaltung als Parameter für den Betrieb des umlaufenden Werkzeugs 1 gespeichert.

Ein Beispiel des obigen Betriebs wird beschrieben, in dem ein rechtsgängiger Stirnfräser mit Helixzahnung bearbeitet wird, mit einem Helixwinkel  $\theta$ , einer Schneidrandlänge L (mm) und einem Durchmesser D (mm).

Wird die Hauptwelle 5 entlang einer Minusrichtung (nach oben) der Axialrichtung (Z-Achsenrichtung) um einen festgelegten Bewegungsumfang bewegt, d. h. um einen Bewegungsumfang der Schneidrandlänge L in einer Richtung weg von dem führenden Ende des Werkzeugs 1 zu dem Spannfutter 3, so wird eine Bewegung des Werkzeugs 1 in der Minusrichtung (nach oben) beibehalten, während es nach rechts mit einem konstanten Verhältnis von  $(360' \times L \times \tan\theta)/\pi \times D$  gedreht wird. Beispielsweise zeigt die Fig. 3 eine Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs und der Oberflächenbehandlungselektrode der ersten Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts. Wie in Fig. 3 gezeigt, wird das Werkzeug 1 nach oben bewegt, während es sich nach rechts betrachtet von der Seite der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 dreht. Hierdurch wird die Endoberfläche 2a als Entladeoberfläche der Elektrode 2 relativ nach unten entlang der Schraubenlinie der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 bewegt. Im Ergebnis wird die Reformierschicht 19 entlang der Länge der Flanke 1a über eine Distanz Z1 der nach unten gerichteten Bewegung der Endoberfläche 2a aufgebaut. Die Hauptwelle 5 wird in eine Plusrichtung (nach unten) der Z-Achsenrichtung bewegt, d. h. von dem Spannfutter weg zu dem führenden Ende des Werkzeugs 1, das Werkzeug 1 wird in umgekehrter Richtung nach oben (linksgängige Dre-

hung) gedreht. Somit wird die Entladeoberfläche der Elektrode 2 an der Randflanke 1a entlang der Schraubenlinie des Schneidzahns hin- und herbewegt, unter Beibehaltung der in Fig. 2 gezeigten Positionsbeziehung der Bearbeitungsstartzeit (Anfangseinstellung). Die Zwischenpoldetektorschaltung 17 detektiert die Positionsbeziehung zwischen der Elektrode 2 und dem umlaufenden Werkzeug 1 anhand deren Kontakte oder dergleichen. Eine detektierte Information wird zu der Steuereinheit 15 gesendet. Information wird zum Positionieren der Entladeoberfläche 2 und der Flanke 1a und der Fläche 1b des Werkzeugs 1 (vgl. Fig. 2) so eingesetzt, daß diese entgegengesetzt zueinander sind. Werden der Helixwinkel  $\theta$ , die bearbeitete Schneidrandlänge L, der Durchmesser D, die Information für den schraubenlinienförmigen Schneidzahn (rechtsgängig oder linksgängig), die Bewegungsgeschwindigkeit und die Zahl der Wiederholzeiten bei der Ortsbewegungs-Steuerschaltung 16 eingegeben, so gibt diese an die Steuereinheit 15 einen Befehl derart ab, daß die Ladungsüberfläche der Schraubenlinie/Helix der Flanke 1a folgt. Die Steuereinheit 15 steuert den X-Achsenantrieb 13, den Y-Achsenantrieb 14, den Z-Achsenantrieb 7 und den Drehwellenantrieb 8 in Übereinstimmung mit dem Befehl derart, daß sich das Werkzeug 1 und die Elektrode 2 relativ zueinander, wie gewünscht, bewegen.

Wie oben erwähnt, führt die Energiequelle 18 eine Spannung zum Erzeugen einer elektrischen Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode 2 zu, während der Entladungsabschnitt in das Bearbeitungsfluid 10 eingetaucht wird und während die Elektrode 2 der bearbeiteten Schneidzahnoberfläche folgt. Somit wird eine Reformierschicht 19 auf der Randflanke 1a und der Randfläche 1b des umlaufenden Werkzeugs 1 gebildet. Insbesondere erstreckt sich die auf der Flanke 1a gebildete Reformierschicht 19 entlang einem äußeren Umfangsrandteil der Fläche 1b, wodurch die Reformierschicht 19 auch auf der Fläche 1b definiert ist.

Bei der ersten Ausführungsform ist es vorzuziehen, den Elektrodenhalter 4 so zu steuern, daß er sich in der Axialrichtung der Elektrode 2 (X-Achsenrichtung) bewegt, wodurch die Position der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 korrigiert wird, die durch die elektrische Entladung abgetragen wird. In diesem Fall wird die Entladungslücke zwischen der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 und den Schneidzahn des Werkzeugs 1 immer geeignet für die elektrische Entladung aufrechterhalten.

#### 50 Zweite Ausführungsform

Die Fig. 4 zeigt eine Beziehung zwischen einem umlaufenden Werkzeug und einer Oberflächenbehandlungselektrode bei einem Oberflächenbehandlungsgerät nach einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Die Fig. 5 zeigt eine Beziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode nach Fig. 4. Die Fig. 6 zeigt einen Zustand, nachdem eine Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode verändert ist. Die Fig. 7 zeigt eine Positionsbeziehung zwischen einer Mittenachse eines umlaufenden Werkzeugs und einer Oberflächenbehandlungselektrode bei einer horizontalen Ebene gemäß einer zweiten Ausführungsform eines Oberflächenbehandlungsgeräts mit der elektrischen Entladungsbearbeitung der Erfindung. Die Fig. 8 zeigt eine Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und einer äuße-

ren Durchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene. Die Fig. 9 zeigt eine Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug in einer äußeren Durchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene derart, daß die Elektrode innerhalb eines Drehorts eines Schneidrands fortschreitet. Die Fig. 10 zeigt eine Positionsbeziehung zwischen einem umlaufenden Werkzeug und einer äußeren Durchmesserlinie bei einer Oberflächenbehandlungselektrode in der horizontalen Ebene, derart, daß die Elektrode in Kontakt mit dem Schneidrand gelangt. Die Fig. 11 zeigt eine Positionsbeziehung zwischen dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs und einer Außendurchmesserlinie der Oberflächenbehandlungselektrode. Die Fig. 12 zeigt eine Winkelbeziehung zwischen einer Flanke des umlaufenden Werkzeugs und einer Längsendoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode. Die Fig. 13 zeigt eine Parallelbeziehung zwischen einer Flanke des umlaufenden Werkzeugs und einer Längsendoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode. Die Fig. 14 erläutert einen Betrieb zum Aufbauen einer Reformierschicht bei einer Flanke des umlaufenden Werkzeugs.

Eine Gesamtstruktur der zweiten Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts stimmt mit derjenigen des in Fig. 1 gezeigten Geräts überein, und eine detaillierte Beschreibung hiervon wird weggelassen.

Unter Bezug auf die Fig. 4 bis 14 enthält das Oberflächenbehandlungsgerät der zweiten Ausführungsform das umlaufende Werkzeug 1, die Oberflächenbehandlungselektrode 2, das Spannfutter 3, den Elektrodenhalter 4, die Hauptwelle 5, die umlaufende Welle 6, den Z-Achsenantrieb 7 und den Drehwellenantrieb 8, wie die erste Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts in der zweiten Ausführungsform wird nachfolgend unter Bezug auf die Fig. 4 bis 14 und die Fig. 15 und 16 beschrieben.

Die Fig. 15 und 16 zeigen ein Flußdiagramm eines Programms zum Aufbauen der Reformierschicht bei gleichzeitiger Festlegung einer Beziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode in der zweiten Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts.

Im Schritt S1 werden Bedingungen oder Daten für das Werkzeug 1 und die Elektrode 2 eingegeben und in der Steuereinheit 15 festgelegt. Bedingungen für das umlaufende Werkzeug 1 sind ein Helixwinkel  $\theta$ , eine Schneidrandlänge L (mm), ein Durchmesser D (mm), eine Schraubenrichtung (rechtsgängig oder linksgängig) und dergleichen. Die Bedingungen der obigen Behandlungselektrode 2 sind eine Länge M (mm), ein Durchmesser d (mm) und dergleichen. Die Position des Elektrodenhalters 4, der zum Halten der Elektrode 2 als mechanische Struktur ausgebildet ist, ist eindeutig festgelegt, wenn der Halter 4 an dem Bearbeitungsgefäß 9 montiert ist. Anschließend läßt sich die X-Koordinate und Y-Koordinate des Halters 4 spezifizieren, während die Z-Koordinate hiervon spezifiziert ist. Hierfür wird die Position der Mittenlinie A-A der an den Elektrodenhalter 4 angepaßten Elektrode eindeutig festgelegt. Weiterhin wird die Pegelhöhe der Elektrode 2 durch die mechanische Montierung festgelegt, so daß sich die Y-Koordinate spezifizieren läßt, während die X-Koordinate spezifiziert ist. Die Mittenlinie O-O des umlaufenden Werkzeugs (vgl. Fig. 4 und 5) ist eindeutig durch die Mittenlinie-(Achse) Z-Z bestimmt, die sich in Z-Achsenrichtung der Hauptwelle 5 erstreckt, so daß die

X-Koordinate und die Y-Koordinate hiervon spezifiziert sind.

Wie in Fig. 4 gezeigt, ist sie selbst dann, wenn die Elektrode 2 und das Werkzeug 1 an ihren Positionen 5 montiert sind, dort nicht spezifiziert, wo die Mittenlinie A-A der Elektrode 2 und die Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 (Mittenlinie Z-Z der Hauptwelle 5) positioniert sind. Jedoch ist die Position der Mittenlinie A-A der Elektrode 2 mechanisch festgelegt, und sie läßt sich spezifizieren. Ferner ist die Position der Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 mechanisch festgelegt, und sie läßt sich spezifizieren. Somit läßt sich, wie in Fig. 5 gezeigt, die Positionsbeziehung des Werkzeugs 1 (rechtsgängiger schraubenförmiger Zahn und Stirnfräser mit vier Zähnen), das in dem Spannfutter 3 gehalten ist, und der Elektrode 2, die in dem Halter 4 gehalten ist, derart festlegen, daß die Mittenlinie A-A der Elektrode 2 und die Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 einander in rechten Winkeln kreuzen, durch Angleichen der Position des 15 Elektrodenhalters 4 über den X-Achsenantrieb 13 und den Y-Achsenantrieb 14. Anschließend werden in dem Schritt S2 Betriebstasten betätigt, die jeweils in Zuordnung zu den entsprechenden Antrieben 7, 13 und 14 an einem nicht gezeigten Steuerpult vorgesehen sind. In dem Schritt S3 wird die Position des Elektrodenhalters 4 20 so angeglichen, daß die Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 rechtwinklig die Mittenlinie A-A der Elektrode 2 kreuzt. Eine horizontale Ebene Af-Af mit der Mittenlinie A-A ist in Fig. 5 gezeigt. Zu diesem Zeitpunkt sind 25 deren Positionen so ausgelegt, daß das Werkzeug 1 und die Elektrode 2 mit einem kleinen Intervall derart angeordnet sind, daß sie nicht miteinander kollidieren, wie in den Fig. 4 und 5 gezeigt, auf der Grundlage der Schneidrandlänge L (in mm) des Werkzeugs 1, der Länge M (mm) und des Durchmessers d (mm) der Elektrode 2 und 30 dergleichen.

In dem Schritt S4 und dem Schritt S5 ist das umlaufende Werkzeug 1 abgesenkt und die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 detektiert, ob ein Längendschneidrandabschnitt des Werkzeugs 1 in Kontakt zu einem oberen Abschnitt der Elektrode 2 vorliegt oder nicht. Berührt der Endschneidrandabschnitt den oberen Abschnitt der Elektrode 2, so wird die Z-Koordinate des Endschneidrands in dem Zeitpunkt als eine Standardposition berechnet, auf der Grundlage einer Distanz  $d/2$  zwischen der Position des Endschneidrands und der Mittenlinie A-A der Elektrode 2, und zwar in dem Schritt S6. In diesem Zeitpunkt ist aufgrund der Tatsache, daß die Z-Koordinate der Mittenlinie A-A der Elektrode 2 mechanisch bestimmt und spezifiziert ist, wie oben erwähnt, eine derartige Berechnung der Standardposition möglich.

Anschließend wird in dem Schritt S7 das umlaufende Werkzeug 1 nach oben bewegt, und es wird nach oben zu einer solchen Position zurückgeführt, daß es nicht mit der Elektrode 2 wechselwirkt, und die Elektrode 2 wird ebenfalls rückwärts bewegt. Anschließend wird, wie in Fig. 6 gezeigt, das umlaufende Werkzeug 1 in Z-Achsenrichtung durch den Z-Achsenantrieb 7 abgesenkt, 45 auf der Grundlage der Schneidrandlänge des Werkzeugs 1, derart, daß ein Ende des Schneidrands bei der Schaftseite des Werkzeugs 1 oder eine Schulterposition 1d der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 gegenüberliegt und es an einer Verlängerungslinie der Mittenlinie A-A 50 positioniert ist.

Bei Betrachtung des Abschnitts des Werkzeugs 1 in der horizontalen Ebene Af/Af ausgehend von der Seite des Spannfutters ist die Positionsbeziehung zwischen

der Endoberfläche 2a und der Flanke 1a beispielsweise so, wie sie in Fig. 7 gezeigt ist. Insbesondere ergeben sich zwei Fälle:

einer, bei dem der Schneidrand des Werkzeugs 1 nach oben (im Uhrzeigersinn) ausgehend von der Mittenlinie A-A der Elektrode 2 gedreht ist, wie anhand der durchgezogenen Linie in Fig. 7 gezeigt, und ein anderer, bei dem der Schneidrand des Werkzeugs 1 nach links (entgegen dem Uhrzeigersinn) ausgehend von der Mittenlinie A-A der Elektrode 2 gedreht ist, wie anhand der Zwei-Punkt strichpunktuierten Linie in Fig. 7 gezeigt.

Wie in Fig. 8 gezeigt, tritt in dem Schritt S8 die Elektrode 2 entlang der X-Achsen- und Y-Achsenrichtungen zum Angleichen der Relativposition zu dem umlaufenden Werkzeug 1 so bewegt, daß eine Verlängerungslinie A1-A1 eines Endes in Breitenrichtung der Endoberfläche 2a (unterstes Ende in Fig. 8) an der Mittenachse O des umlaufenden Werkzeugs 1 vorbeiläuft oder diese rechtwinklig kreuzt. Die Verlängerungslinie A1-A1 ist bei dem Winkelende (unteren Ende in Fig. 8) angeordnet, betrachtet von der Seite der Endoberfläche 2a der Elektrode 2, und zwar in dem Fall, in dem die Schraubenlinie des Werkzeugs 1 rechtsgängig ist, wie in Fig. 8 gezeigt. Ist die Schraubenlinie des Werkzeugs 1 linksgängig, so ist es an dem rechten Ende (oberen Ende in Fig. 8) angeordnet, betrachtet von der Seite der Endoberfläche 2a der Elektrode 2. Insbesondere dann, wenn die Elektrode 2 aus einem Rundmaterial besteht, ist diese eine Verlängerungslinie einer Tangentiallinie der am weitesten links oder rechts vorliegenden Randoberfläche. Besteht die Elektrode 2 aus einem Vierkantstab/Material, so ist sie eine Verlängerungslinie der am weitesten links oder rechts befindlichen Endoberfläche. Die Verlängerungslinie A1-A1 der Elektrode 2 läßt sich erhalten und erkennen, indem der Kontakt der Seitenoberfläche der Elektrode 2 und des Schenkelteils des Werkzeugs 1 durch die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 detektiert wird. Bei dieser Ausführungsform ist die Verlängerungslinie A1-A1 diejenige, die anhand der Mittenlinie A-A und dem Radius d/2 der Elektrode 2 aus Einfachheitsgründen berechnet ist. Die Mittenlinie O-O (Mittenachse) in diesem Zeitpunkt wird anhand des Bewegungsumfangs des X-Tisches 11 und des Y-Tisches 12 gemessen.

Wie in Fig. 9 gezeigt, wird die Elektrode 2 in X-Achsenrichtung derart bewegt, daß die Endoberfläche 2a an einer solchen Position angeordnet ist, daß sie innerhalb eines Ortes 1A des Schneidzahns des Werkzeugs 1 vorliegt und nicht in Kontakt zu dem Werkzeug 1 gelangt. Im Schritt S9 wird entschieden, ob die Elektrode 2 eine solche Position erreicht oder nicht. Insbesondere folgt eine JA-Entscheidung in dem Fall, wenn die Endoberfläche 2a innerhalb eines Bereichs von D/2 ausgehend von der Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 plaziert ist, während die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 nicht den Kontakt der Elektrode 2 und des Werkzeugs 1 detektiert. Anschließend wird in dem Schritt S10 das Werkzeug 1 im Uhrzeigersinn gedreht (Rechtsumdrehung in den Fig. 4 bis 14) und zwar für den Fall des rechtsgängigen schraubenförmigen Zahns, ohne entgegen dem Uhrzeigersinn in dem Fall des linksgängigen schraubenförmigen Zahns. Im Schritt S11 werden, wie in Fig. 10 gezeigt, die Elektrode 2 und das Werkzeug 1 in Kontakt zueinander gebracht. In diesem Zeitpunkt detektiert die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 den Kontakt der Seitenoberfläche der Elektrode 2 mit dem Schneidrand des Werkzeugs 1. In dem Schritt S12 liest die Steuereinheit 15 eine Koordinate (x0, y0) ein, und zwar für den

Schneidrand des Schneidzahns der mehreren Zähne (für die dargestellte Ausführungsform zwei Zähne) des Werkzeugs 1, der in Kontakt zu der Elektrode 2 in diesem Zeitpunkt vorliegt. Eine derartige Koordinate (x0, y0) des Schneidzahns läßt sich auf der Basis der Koordinate der Mittenlinie O-O und des Radius D/2 des Werkzeugs 1 berechnen, sowie einer Distanz von der Endoberfläche 2a der Elektrode zu der Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1. Die Koordinate (x0, y0) des obigen, in Kontakt vorliegenden Zahns der mehreren Zähne kann eine vorläufige Koordinate für die nachfolgenden Schritte sein, beispielsweise einer Positionierung, d. h. eine Koordinate eines virtuellen Schneidzahns. Dies bedeutet, daß die Koordinate des virtuellen Schneidzahns eine Koordinate des Schneidzahns des Zahns sein kann, der bezogen auf die Mittenkoordinate O des Werkzeugs 1 ausgelesen wird und von dem die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 in Kontakt zu der Seitenoberfläche der Elektrode 2 detektiert, ausgehend von den mehreren Zähnen des Werkzeugs 1. Eine derartige Koordinate kann eine Koordinate (x0 = 0, y0 = 0) sein, und sie kann in den nachfolgenden Schritten benutzt werden. Auf jeden Fall ist es ausreichend, wenn die Koordinate des Schneidzahns von dem Werkzeug 1 spezifiziert ist. Bei dieser Ausführungsform wird die Koordinate (x0, y0) eines festgelegten Zahnschneidzahns eingelesen und für die nachfolgenden Schritte eingesetzt.

Die Drehung der Drehwelle 6 wird in dem obigen Kontaktzustand gestoppt und bei einer solchen Position in Drehrichtung gehalten (nachfolgend unter Bezug als "C-Koordinate"). In diesem Zustand wird die Elektrode 2 gemäß den Fig. 11 und 12 so nach oben bewegt, daß das Werkzeug 1 relativ von der Verlängerungslinie A1-A1 der Elektrode 2 weg bewegt wird, oder entlang der Y-Achsenrichtung nach oben zu einer solchen Position, daß sie nicht mit der Elektrode 2 wechselwirkt, nach Schritt S13. Weiterhin wird die Elektrode 2 ebenfalls auch entlang der X-Achsenrichtung bewegt, und zwar um eine festgelegte Distanz. Beträgt in diesem Zeitpunkt, wie in Fig. 11 gezeigt, der Bewegungsumfang der Elektrode Δy, so nimmt die Koordinate des Schneidzahns des Werkzeugs 1 eine Koordinate (x1, y1) an. Eine solche Koordinate (x1, y1) des Werkzeugs 1 stellt eine Relativkoordinate zu der Elektrode 2 dar. In dem in Fig. 11 gezeigten Zustand ist eine Schneidzahnfläche oder eine Randflanke 1a um einen Umfang gemäß dem dem Randfreiwinkel β des Zahns des Werkzeugs 1 geneigt. Deshalb wird dann, wenn die Elektrode 2 parallel entlang der X-Achsenrichtung in Beziehung zu dem Schneidrand derart bewegt wird, daß der Schneidrand der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 gegenüberliegt, um die elektrische Entladung durchzuführen, die Reformierschicht 19 so aufgebaut, daß sie den Schneidrand ausgehend von der Flanke 1a zu der Fläche 1b abdeckt, wodurch der Schneidrand gerundet und stumpf wird.

Anschließend wird in dem Schritt S14 das Werkzeug 1 um die Z-Achsenrichtung gedreht, im Umfang des Randfreiwinkels β des Schneidzahns, bis zu einer festgelegten C-Koordinate, und zwar durch die Drehwelle 6. Somit wird die zu bearbeitende Flanke 1a bei einer Position eingestellt, die gegenüber und parallel zu der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 liegt. Hier unterscheidet sich der Randfreiwinkel β, der tatsächlich die Flanke 1a des Werkzeugs 1 definiert, in Abhängigkeit von dem Werkzeugdurchmesser D oder den Herstellern, die das Werkzeug herstellen. Anschließend wird der Randfreiwinkel β anhand einer Tabelle von Randfreiwinkeln oder dergleichen erhalten, die der Werkzeughersteller

heraus gibt und die im Zeitpunkt des Nachschleifens eingesetzt wird. Derartige Freiwinkel werden bei der Steuereinheit 15 so eingegeben, daß der Schneidzahn nach rechts im Fall des rechtsgängigen schraubenförmigen Zahns und nach links im Fall des linksgängigen Zahns positioniert ist. Anschließend wird die Drehwelle 6 durch den Drehwellenantrieb 8 wie oben erwähnt gedreht, und eine geeignete Korrektur wird so durchgeführt, daß die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 und die Flanke 1a des Werkzeugs 1 parallel zueinander werden.

Bei dieser Ausführungsform wird aufgrund der Tatsache, daß das Werkzeug 1 den Durchmesser von D aufweist, die Koordinate des Schneidrands von der Koordinate  $(x_1, y_1)$  zu der Koordinate  $(x_1 + D(1 - \cos\beta), y_1 + D \sin\beta)$  verändert, nach der Drehung des Werkzeugs 1 bei dem Freiwinkel  $\beta$ . Hierbei nimmt dann, wenn  $y_1 = y_0 - \Delta y$  gilt, die Koordinate den Wert  $(x_1 + D(1 - \cos\beta), y_0 - \Delta y + D \sin\beta)$  an.

Im Schritt 15 wird das sich drehende Werkzeug 1 in Z-Achsenrichtung um einen Umfang von  $d - (y_0 - \Delta y + D \sin\beta)$  derart bewegt, daß der Schneidrand an derselben Position wie ein Eckenrand der Endoberfläche 2a der Elektrode (in Fig. 13 oberer Eckenrand) oder außerhalb derselben (in Fig. 13 nach oben) positioniert ist. Hierdurch wird vermieden, daß der Schneidrand durch die Bildung der Reformierschicht 19 hierauf stumpf wird. Demnach ist es, wie in Fig. 13 gezeigt, möglich, den Schneidrand des Werkzeugs 1 an der Endoberfläche 2a der Elektrode 2 zu positionieren, während vermieden wird, daß die Elektrode 2 über den Schneidrand hinaus positioniert wird. Im Schritt S16 werden das umlaufende Werkzeug 1 und die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 so positioniert, daß die Lücke einen Wert von  $\Delta x$  annimmt. Hierauf wird in dem Schritt S17 eine elektrische Entladung zwischen der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 und der Elektrode 2 erzeugt. Im Schritt S18 wird, wie bei der ersten Ausführungsform beschrieben, das Werkzeug 1 in C-Achsenrichtung gedreht, während es in Z-Achsenrichtung bewegt wird. Insbesondere die Relativbewegung der Elektrode 2 und des Werkzeugs 1 ist so gesteuert, daß die Entladungsoberfläche der Elektrode 2 und die bearbeitete Oberfläche des Schneidrands des Werkzeugs 1 dieselbe positionsmäßige Beziehung während aller Zeitpunkte aufweisen. Die elektrische Entladungsbearbeitung wird gleichzeitig so durchgeführt, daß die Reformierschicht 19 einheitlich an der Randflanke 1a entlang der gesamten Schneidrandlänge L des Schneidzahns gebildet wird. Im Schritt S19 wird entschieden, ob die Reformierschicht 19 einheitlich an der Flanke 1a über die gesamte Schneidrandlänge L des Werkzeugs 1 einheitlich gebildet wurde oder nicht. In dem Schritt S20 wird das Werkzeug 1 um einen festgelegten Winkel gedreht, entsprechend der Zahl der Zähne, so daß ein nächster zu bearbeitender Schneidrand positioniert ist, beispielsweise ein Schneidrand benachbart zu dem zuletzt bearbeiteten Schneidrand, und zwar an der Elektrode 2 in derselben Weise wie oben beschrieben. Im Schritt S22 wird entschieden, ob die Bearbeitung entsprechend der Wiederholungszahl der Zahanzahl des umlaufenden Werkzeugs 1 durchgeführt wurde oder nicht. Wurde die Bearbeitung nicht gemäß der Wiederholungszahl der Zahanzahl durchgeführt, so kehrt die Bearbeitung zu der Routine ausgehend von dem Schritt S3 zurück, und derselbe Betrieb wird wiederholt. Wird im Schritt S21 entschieden, daß die Bearbeitung gemäß der Wiederholungszahl der Zahanzahl des Werkzeugs 1 wiederholt

wurde, so endet die Durchführung dieser Routine.

Wird der Schneidrandabschnitt durch eine große elektrische Entladungsenergie bearbeitet, so läßt sich das Werkzeug 1 in größerem Umfang entlang der Y-Achsenrichtung als im Fall der Fig. 14 bewegen, so daß es über den Eckenrand der Elektrode 2 hinaus angeordnet ist. In diesem Fall ist es möglich, die Reformierschicht 19 des Schneidrands durch die elektrische Entladungsbearbeitung aufzubauen, während vermieden wird, daß er stumpf wird.

Mit dem obigen Verfahren zum Positionieren des Schneidrands des Werkzeugs 1 an einer Endoberfläche 2a der Elektrode 2 ist es möglich, die Elektrode 2 an dem Werkzeug 1 automatisch zu positionieren, und zwar lediglich durch Eingabe des Randfreiwinkels  $\beta$ , der Schneidrandlänge L und des Durchmessers D des Werkzeugs 1 und des Durchmessers d der Elektrode 2 bei der Steuereinheit 15, selbst wenn sich der Durchmesser D des zu bearbeitenden Werkzeugs 1 unterscheidet.

Weiterhin läßt sich die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 selbst an der Schneidzahnoberfläche eines als Reibahle gebildeten umlaufenden Werkzeugs 1 positionieren, das keinen schraubenförmigen Schneidzahn aufweist, sondern einen geraden Schneidzahn, der sich entlang dessen Axialrichtung erstreckt. Dann ist es möglich zu bewirken, daß die Elektrode 2 der Zahnoberfläche jeder geraden Schneidkante folgt, wodurch eine einheitliche Reformierschicht 19 hierauf gebildet wird.

### Dritte Ausführungsform

Die Fig. 17 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Entladungsbearbeitung gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 17 gezeigt, weist die dritte Ausführungsform eine ähnliche Struktur wie diejenige der ersten Ausführungsform im ganzen auf, jedoch ist bei ihr die Positionsbeziehung zwischen dem umlaufenden Werkzeug 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 2 umgekehrt. Insbesondere wird die Oberflächenbehandlungselektrode 2 durch das Spannfutter 3 so gehalten, daß es über die Drehwelle 6 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht wird. Die Elektrode 2 wird in Z-Achsenrichtung über die Hauptwelle 5 bewegt, und ihre Position wird durch die Steuerung der Steuereinheit 15 in derselben Weise wie bei dem umlaufenden Werkzeug 1 der ersten Ausführungsform gesteuert.

Andererseits wird das umlaufende Werkzeug 1 ko-axial an einem Elektrodenhalter 24 gehalten. Der Elektrodenhalter 24 ist an einer festgelegten Position des X-Tisches 11 fixiert, wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 24 ist so eingestellt, daß sich seine Achse horizontal entlang dem X-Achsentisch erstreckt. Somit erstreckt sich die Achse des umlaufenden Werkzeugs 1 ebenfalls horizontal entlang dem X-Tisch. Hierdurch wird das umlaufende Werkzeug 1 gesteuert in X-Achsenrichtung oder Y-Achsenrichtung relativ zu der Oberflächenbehandlungselektrode 2 bewegt, in derselben Weise wie bei der Steuerung der Bewegung der Elektrode 2 der ersten Ausführungsform. Weiterhin nimmt der Elektrodenhalter 24 hier einen Motor 24a zum Drehen des Werkzeugs 1 auf, zusätzlich zu der gleichen Struktur wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehgeschwindigkeit des Werkzeugs 1 über den Motor 24a durch die Steuereinheit 15

und die Bewegungsort-Steuerschaltung 16 gesteuert, in derselben Weise wie die Drehsteuerung für den Drehwellenantrieb 8 der ersten Ausführungsform.

Der Elektrodenhalter 24 mit dem Motor 24a, der X-Achsenantrieb 13 und der Y-Achsenantrieb 14 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode 2 der dritten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der dritten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Bei der dritten Ausführungsform wird die Oberflächenbehandlungselektrode 2 in Z-Achsenrichtung bewegt, während das umlaufende Werkzeug 1 entlang der X-Achsen- und Y-Achsenrichtung bewegt wird, jeweils in einem gesteuerten Zustand. Anschließend liegt die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 dem Schneidrand des Werkzeugs 1 gegenüber, durch Einsatz der Zwischenpol-Detektorschaltung 17 in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Anschließend wird eine elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode 2 durch die Energiequelle für die elektrische Entladung 18 bewirkt. Gleichzeitig wird ein X-Achsenvorschub des Werkzeugs 1 gesteuert, während dessen Drehung in Z-Achsenrichtung so gesteuert wird, daß sie mit dem X-Achsenvorschub synchronisiert ist. Somit folgt die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 der Gesamtlänge des Schneidrands des Werkzeugs 1, und sie wird dieser nachgeführt.

Detaillierter wird die Oberflächenbehandlungselektrode 2 durch das Spannfutter 3, an der Hauptwelle 5 montiert, gehalten. Das umlaufenden Werkzeug 1 ist an den Elektrodenhalter 24 angepaßt und durch Antriebskopplung mit dem Motor 24 derart, daß es drehbar ist. Der Elektrodenhalter 24 ist in dem Bearbeitungsbehälter 9 angeordnet, der mit dem Bearbeitungsfluid 10 gefüllt ist, so daß er mit dem X-Tisch 11 und dem Y-Tisch 12 beweglich ist. Die Steuereinheit 15 steuert die Drehung des Motors 24a und die Betriebsschritte des X-Achsenantriebs 13 und des Y-Achsenantriebs 14. Somit steuert sie die X-Achsenposition und Y-Achsenposition des Elektrodenhalters 24 über den X-Tisch 11 und den Y-Tisch 12. Die Oberflächenbehandlungselektrode 2 ist so festgelegt, daß die Endoberfläche 2a der Randflanke 1a des Schneidzahns des Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Insbesondere wird der X-Tisch 11 und/oder der Y-Tisch 12 so gesteuert, daß das Werkzeug 1 ebenfalls über den Elektrodenhalter 24 horizontal bewegt wird. Die Horizontalbewegung und die Drehung hier von sind gleichzeitig synchronisiert. Für den Synchronisierungsbetrieb werden der Bewegungsumfang in Axialrichtung (X-Achsenrichtung) und der Bewegungsumfang des Werkzeugs 1 so angeglichen, daß die Entladungsfläche oder die Endoberfläche 2a der Elektrode 2 sich entlang der Schraubenlinie des Schneidrands des Werkzeugs 1 bewegt, um durch die elektrische Entladung bearbeitet zu werden. Der obige Betrieb wird durch Steuerung mit der Steuereinheit 15 und der Bewegungsort-Steuerschaltung 16 durchgeführt, in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Beispielsweise wird in einem Fall der Bearbeitung eines Stirnfräzers mit rechtgängigem schraubenförmigem Zahn mit einem Helixwinkel  $\theta$ , einer Schneidrandlänge L (mm) und einem Durchmesser D (mm) dann, wenn die Achsrichtung die X-Achsenrichtung ist und der Stirnfräser in Minusrichtung gedreht wird und wenn der Bewegungsumfang gleich der Schneidrandlänge L ist, der Stirnfräser so betrieben, daß er sich in der Minusrich-

tung in einem Umfang von  $(360^\circ \times L \tan \theta) / (\pi D)$  relativ zu der Axialbewegung dreht.

Wird das umlaufende Werkzeug 1 in Plusrichtung der X-Achse bewegt, so wird es in umgekehrter Richtung (Plusrichtung) gedreht. Somit wird die Entladungsfläche der Elektrode 2 hin- und herbewegt, und zwar an der Randflanke 1a und der Randfläche 1b, entlang der Helix des Schneidrands, während die Positionsbeziehung hier zwischen dem Zeitpunkt der Bearbeitung aufrecht erhalten wird.

Insbesondere ist bei der dritten Ausführungsform der Betrieb des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 2 umgekehrt. Natürlich ist bei dieser Ausführungsform eine Elektronenpolarität beim Einstellen einer elektrischen Bedingung für die elektrische Entladung umgekehrt zu derjenigen der ersten Ausführungsform.

Anschließend wird, wie bei der ersten Ausführungsform, eine elektrische Entladung erzeugt, während die Elektrode 2 der Zahnoberfläche des Werkzeugs 1 folgt, so daß die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 gebildet wird.

#### Vierte Ausführungsform

Die Fig. 18 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 18 gezeigt, weist die vierte Ausführungsform eine ähnliche Struktur wie die erste Ausführungsform als ganzes auf, jedoch nützt sie eine Randoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode 2 als Entladungsfläche. Insbesondere wird die Oberflächenbehandlungselektrode 2 koaxial in einem Elektrodenhalter 34 gehalten. Der Elektrodenhalter 34 ist an einer festgelegten Position des X-Tisches 11 fixiert, wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 34 ist so festgelegt, daß sich seine Achse horizontal entlang dem X-Achsentisch erstreckt. Somit erstreckt sich die Achse der Oberflächenbehandlungselektrode 2 ebenfalls horizontal entlang dem X-Tisch 11. Hierdurch wird die Position der Elektrode 2 gesteuert, indem der X-Tisch 11 und der Y-Tisch 12 in X-Achsen- und Y-Achsenrichtung über dem X-Achsenantrieb 13 und dem Y-Achsenantrieb 14 durch die Steuereinheit 15 bewegt werden, wie bei der ersten Ausführungsform. Hierfür werden das Werkzeug 1 und die Elektrode 2 gesteuert zur gleichen Zeit entlang einer oder zweier oder dreier Achsenrichtungen gemäß der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung bewegt. Der Elektrodenhalter 34 nimmt in sich einen Motor 34a zum Drehen der Elektrode auf, zusätzlich zu derselben Struktur wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehung des Motors 34a durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Der Elektrodenhalter 34 kann neigbar in einer Neigungsrichtung (vertikal) T hergestellt sein, wie der Halter 4 der ersten Ausführungsform, so daß die Flanke 1a des Werkzeugs 1 gegenüber der Mittenachse mit einem festgelegten Winkel geneigt ist.

Der Elektrodenhalter 34, der X-Achsenantrieb 13 und der Y-Achsenantrieb 14 sowie der Z-Achsenantrieb 7 und der Drehwellenantrieb 8 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode 2 der dritten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der

vierten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Bei der vierten Ausführungsform wird das umlaufende Werkzeug 1 mit der Drehwelle 6 über das Spannfutter 3 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht, während einer Vertikalbewegung mit der Hauptwelle 5 durch den Z-Achsenantrieb 7. In diesem Zeitpunkt ist die Vertikalbewegung und die Drehung des Werkstücks 1, die Steuerung der Steuereinheit 15 und der Bewegungssteuerungsschaltung 16 synchronisiert. Für den Synchronisierungsbetrieb sind der Z-Achsen-Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 und der Drehumfang der Drehwelle 6 so festgelegt, daß sich die Randoberfläche 2b als Entladungsoberfläche der Elektrode 2 entlang der Schraubenlinie des Schneidrands des Werkzeugs 1 bewegt. Beispielsweise wird in einem Fall der Bearbeitung eines Stirnfräzers mit rechtsgängigem schraubenförmigem Zahn mit einem Helixwinkel  $\theta$ , einer Schneidrandlänge L (mm) und einem Durchmesser D (mm) der Stirnfräser in Minusrichtung mit einer Rate von  $(360^\circ \times L \times \tan \theta) / (\pi \times D)$  gedreht, und zwar für den Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 in Minus- (nach oben gerichteter) Richtung entsprechend der Schneidrandlänge L. Wird der Stirnfräser in Plus-(nach unten gerichteter) Richtung der Hauptwelle 5 bewegt, so wird er in umgekehrter Richtung (Plusrichtung) selektiv zu der obigen bewegt.

Weiterhin wird die Oberflächenbehandlungselektrode 2 durch den Motor 34a des Halters 34 gedreht. Jedoch genügt es, die Elektrode 2 mit fixierter konstanter Geschwindigkeit zu drehen, entgegen der Drehung des Werkzeugs 1, die durch die elektrische Bearbeitung zu bearbeiten ist. Die Drehgeschwindigkeit hiervon ist vorzugsweise eine, die eine elektrische Entladungsabtragung an der Randoberfläche 2b der Elektrode 2 einheitlich macht und die die elektrische Entladung nicht beeinflußt. Anschließend wird die Entladungsoberfläche oder die Randoberfläche 2b, die sich entlang der Länge der Elektrode 2 erstreckt, entlang der Randflanke 1a der Schraubenlinie der Schneidkante hin- und herbewegt, unter Aufrechterhalten derselben Positionsbeziehung mit der Flanke 1a, wie sie im Startzeitpunkt der Bearbeitung vorliegt. Weiterhin ist es vorzuziehen, eine derartige Relativbewegung zu bewirken, wenn das Werkzeug 1 hin und her in Axialrichtung entlang der Elektrode 2 bewegt wird, bei Durchführung einer Drehung und einer vertikalen Bewegung. Insbesondere läßt sich mit der vierten Ausführungsform der Einfluß der Abnutzung der Elektrode 2 absenken, und die Randoberfläche 2b kann durch Drehen der Elektrode 2 einheitlich hergestellt werden. Demnach läßt sich die Abschlußgenauigkeit einer durch die Oberflächenbehandlung bearbeiteten Oberfläche erhöhen.

Anschließend wird durch die Energiequelle 18 eine Spannung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode 2 zum Erzeugen einer elektrischen Entladung zugeführt, während die Randoberfläche 2b der Elektrode 2 der Schraubenlinie der Zahnoberfläche des Werkzeugs 1 folgt und während der durch elektrische Entladung bearbeitete Teil in das Bearbeitungsfluid 10 eingetaucht ist. Hierdurch wird die gesamte Randoberfläche 2b der Elektrode 2 gleichmäßig für die Bearbeitung in der gegebenen Folge eingesetzt. Somit wird vermieden, daß die Elektrode 2 partiell abgetragen wird, so daß sich die Reformierschicht 19 einheitlich an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 aufbauen läßt.

Die Oberflächenbehandlungselektrode 2 kann durch den Elektrodenhalter 34 um einen vorgegebenen Win-

kel geneigt sein. In diesem Fall ist ein derartiger vorgegebener Neigungswinkel vorgegeben durch die Reformierschicht 19, der an der Randflanke 1a aufgebaut wird. Ein derartiger festgelegter Winkel kann durch die Schritte S16 und dergleichen gemäß dem Flußdiagramm nach Fig. 15 und 16 festgelegt sein, obgleich die detaillierte Beschreibung hierfür zum Vermeiden von Redundanz weggelassen wird.

#### 10 Fünfte Ausführungsform

Fig. 19 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts für eine elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 19 gezeigt, ist diese Ausführungsform für den Einsatz bei einer Oberflächenbehandlung eines umlaufenden Werkzeugs angeglichen, beispielsweise einem Stirnfräser oder einem Spiralbohrer mit exzentrisch geschärfstem Schneidzahn. Die Oberflächenbehandlungselektrode 42 ist aus einer Komponente mit einer Reformierschicht gebildet, d. h. der gleichen Komponente wie derjenigen der ersten Ausführungsform, und zwar in Form einer zylindrischen Spalte mit geringer Länge (komprimierte Zylinderform), in Form einer Scheibe oder dergleichen. Die Oberflächenbehandlungselektrode 42 wird an einem Elektrodenhalter 42 gehalten. Das umlaufende Werkzeug 1 wird in Z-Achsenrichtung bewegt, bei gleichzeitiger synchroner Drehung und Steuerung in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 44 wird an einer festgelegten Position bei dem X-Tisch 11 gesichert, wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Hierdurch wird die Position der Elektrode 42 gesteuert, und zwar durch Bewegung des X-Tisches 11 und des Y-Tisches 12 entlang der X-Achsen- und Y-Achsenrichtung via den X-Achsenantrieb und den Y-Achsenantrieb durch die Steuereinheit 15. Demnach werden das Werkstück 1 und die Elektrode 42 in gesteueter Weise gleichzeitig bewegt, entlang einer oder zweier oder dreier Achsenrichtungen gemäß der X-Achsen-, der Y-Achsen- und der Z-Achsenrichtung. Der Elektrodenhalter 44 nimmt hierin einen Motor 44a zum Drehen der Elektrode 42 auf, zusätzlich zu der gleichen Struktur wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehung des Motors 44a durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Der Elektrodenhalter 44 kann neigbar in einer Neigungsrichtung (vertikal) T ausgebildet sein, jeder Halter für die erste Ausführungsform, so daß die Flanke 1a des Werkzeugs 1 bezogen auf die Mittenachse mit festgelegtem Winkel geneigt ist. Die Oberflächenbehandlungselektrode 42 weist eine Entladungsoberfläche auf, die durch eine äußere Randoberfläche 42a oder einen Umfangsabschnitt 42a einer Seitenoberfläche definiert ist, die der Randflanke 1a des Schneidzahns des Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Weiterhin ist die Elektrode 42 in der Lage, eine Schneidbearbeitung durchzuführen, beispielsweise ein mechanisches Nachschleifen oder Polieren oder dergleichen, durch Kontaktbildung der Randoberfläche 42a oder des Umfangsabschnitts 42b mit dem Werkzeug 1.

Die Fig. 19 zeigt einen Zustand, in dem der Elektrodenhalter 44 in der Neigungsrichtung T geneigt ist. So mit ist es möglich, die Oberfläche des Schneidrands des Werkzeugs 1 mit einer Flanke 1a zu behandeln, und zwar mit einer Reliefschärfung (relief sharpening).

Der Elektrodenhalter 44 sowie der Z-Achsenantrieb 7

und der Drehwellenhalter 8 bilden einen Relativbewegungsantrieb zum relativen Bewegen des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 42 bei der fünften Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der fünften Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Bei der fünften Ausführungsform wird das umlaufende Werkzeug 1 mit der Drehwelle 6 über das Spannfutter 3 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht, bei gleichzeitiger Vertikalbewegung mit der Hauptwelle 5 durch den Z-Achsenantrieb 7. In diesem Zeitpunkt sind die Vertikalbewegung und die Drehung des Werkzeugs 1 durch die Steuerung der Steuereinheit 15 und der Bewegungsort-Steuerschaltung 16 synchronisiert. Für den Synchronisierbetrieb in der Z-Achsen-Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 und der Drehumfang der Drehwelle 6 ist so festgelegt, daß sich die Randoberfläche 42a oder der Umfangsabschnitt 42b als Entladungsüberfläche der Elektrode 43 entlang der Schraubenlinie des Schneidrands des Werkzeugs 1 bewegt. Ein derartiger Synchronisierbetrieb der Vertikalbewegung und der Drehung des Werkzeugs 1 stimmen mit demjenigen der ersten bis vierten Ausführungsform überein.

Die Oberflächenbehandlungselektrode 42 ist an der Antriebswelle 44e montiert, und sie dreht sich um deren Mitte durch den Motor 44a des Halters 44. Es genügt, die Elektrode 42 mit fester konstanter Geschwindigkeit zu drehen im Gegensatz zu der Drehung des Werkzeugs 1, das durch die elektrische Bearbeitung zu bearbeiten ist. Die Drehgeschwindigkeit hiervon ist vorzugsweise eine, die eine Einheitlichkeit einer elektrischen Entladungsabtragung an der Randoberfläche 42a oder dergleichen der Elektrode 42 bewirkt und die die elektrische Bearbeitung nicht beeinflußt. Anschließend wird die Entladungsüberfläche der Elektrode 42 über die Randflanke 1a entlang der Schraubenlinie des Schneidrands hin- und herbewegt, unter Aufrechterhaltung derselben Positionsbeziehung zwischen der Flanke 1a und dem umlaufenden Werkzeug 1, wie sie im Startzeitpunkt der Bearbeitung vorliegt. Insbesondere in dem Fall, in dem die Elektrode 42 eine komprimierte Zylinderform aufweist, die dicker als eine Scheibenform ist, ist es vorzuziehen, eine solche Relativbewegung vor zu geben, bei der das Werkzeug 1 hin und her in Axialrichtung entlang der Elektrode 2 bewegt wird, bei Durchführung einer Drehung und Bewegung in Vertikalrichtung. In diesem Fall ist es möglich, die Abtragung der Entladungsüberfläche oder der Randoberfläche 42a der Elektrode einheitlich auszubilden.

Anschließend wird eine Spannung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode 42 durch die Energiequelle 18 zugeführt, um eine elektrische Entladung zu erzeugen, während die Randoberfläche 42a oder der Abschnitt 42b der Elektrode 42 der Schraubenlinie der Schneidoberfläche des Werkzeugs 1 folgt und während der Teil mit elektrischer Entladung in das Bearbeitungsfluid 10 eingetaucht ist. Hierdurch wird der gesamte Rand oder Umfangsteil der Elektrode 42 einer Scheibe mit großem Durchmesser für die Bearbeitung eingesetzt. Somit wird vermieden, daß die Elektrode 42 partiell abgenutzt wird. Weiterhin läßt sich dann, wenn die Elektrode 42 über den Elektrodenhalter 44 entlang der Neigungsrichtung T, wie oben erwähnt, geneigt ist, die Reformierschicht 19 einheitlich an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 aufbauen, während dessen exzentrische Reliefschärfung aufrecht erhalten wird. Ferner kann die Elektrode 42 die Reformierschicht schleifen

oder polieren, wenn keine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 42 oder der behandelten Zahnoberfläche erfolgt, d. h. wenn die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 deren Kontakt detektiert. Hierdurch wird die Reformierschicht 19 einheitlich an der Flanke 1a des Werkzeugs 1 mit exzentrischer Reliefschärfung gebildet, während der Schneidrand schärfer ausgebildet wird.

Ein Winkel zum Herstellen der exzentrischen Reliefschärfung kann durch den Schritt S16 und dergleichen gemäß dem Flußdiagramm der Fig. 15 und 16 festgelegt sein, obgleich dessen detaillierte Beschreibung zur Vermeidung von Redundanz weggelassen ist.

#### Sechste Ausführungsform

Die Fig. 20 zeigt einen Hauptabschnitt eines Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Entladungsbearbeitung gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 20 gezeigt, wird eine Oberflächenbehandlungselektrode 52 gebildet aus einer Komponente einer Reformierschicht, beispielsweise derselben Komponente wie derjenigen der ersten Ausführungsform, und zwar in Form eines Hohlkegels einer festgelegten Dicke mit einem größeren Durchmesser zur geöffneten Seite hin. Die Oberflächenbehandlungselektrode 52 wird an einem Elektrodenhalter 54 gehalten. Der Elektrodenhalter 54 nimmt hierin einen Motor 54 zum Drehen der Elektrode 52 auf, zusätzlich zu derselben Struktur des Elektrodenhalters 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehung des Motors 54a durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Der Elektrodenhalter 54 kann entlang einer Neigungsrichtung (vertikal) T neigbar sein, wie der Halter 4 der ersten Ausführungsform, so daß die Flanke 1a des Werkzeugs 1 gegenüber der Mittenachse mit festgelegtem Winkel geneigt ist. Die Oberflächenbehandlungselektrode 52 weist eine Entladungsüberfläche auf, die durch eine Drehringoberfläche 52a bei einer offenen Seite definiert ist, die der Flanke 1a und dergleichen des Schneidzahns des Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Die Elektrode 52 kann eine Schneidbearbeitung durchführen, beispielsweise ein mechanisches Schleifen oder Polieren oder dergleichen durch Kontaktbildung zwischen der Drehringoberfläche 52a mit dem Werkzeug 1. Das Drehwerkzeug 1 wird entlang der Z-Achsenrichtung durch die Hauptwelle 5 bewegt, während es durch die Drehwelle 6 gedreht wird, unter Steuerung der Steuereinheit 15 und der Bewegungsort-Steuerschaltung 16 in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 54 wird mit einer festgelegten Position an dem X-Tisch 11 gesichert, wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform, so daß die Position der Elektrode 52 in der X-Achsen- und Y-Achsenrichtung durch die Steuereinheit 15 gesteuert ist. Hierdurch werden das Werkzeug 1 und die Elektrode 52 gesteuert zur gleichen Zeit bewegt, entlang einer oder zweier oder dreier Achsenrichtungen der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung, und zwar durch die Steuereinheit 15.

Obgleich in der Zeichnung nicht gezeigt, stimmen die mechanischen und elektrischen Strukturen dieser Ausführungsform grundlegend mit denjenigen der ersten Ausführungsform überein.

Der Elektrodenhalter 54 sowie der Z-Achsenantrieb 7 und der Drehwellenantrieb 8 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode 52 der sechsten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der sechsten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Eine Mitte der geschlossenen Seite der Oberflächenbehandlungselektrode 52 ist an eine Drehwelle 54b des Elektrodenhalters 54 angepaßt. Die Elektrode 52 führt eine Oberflächenbehandlung durch, indem sie die Ringoberfläche 52a entlang der Schraubenlinie des Schneidrands dreht. Die Ringoberfläche 52 der Elektrode 52 weist einen Durchmesser auf, der größer als die Schneidrandlänge L des umlaufenden Werkzeugs 1 ist, so daß lediglich ein Abschnitt des Werkzeugs 1 näherkommt und der sich drehenden Ringoberfläche 52a der Elektrode 52 gegenüberliegt. Andererseits wird das umlaufende Werkzeug 1 mit der Drehwelle 6 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht, während es vertikal mit der Hauptwelle 5 durch den Z-Achsenantrieb 7 bewegt wird. In diesem Zeitpunkt sind die Vertikalbewegung und die Drehung des Werkzeugs 1 durch die Steuerung der Steuereinheit 15 und der Bewegungsort-Steuerschaltung 16 synchronisiert. Für den Synchronisierbetrieb sind der Z-Achsen-Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 und der Drehumfang der Drehwelle 6 so festgelegt, daß eine Entladungssoberfläche (eine dem Schneidrand gegenüberliegende Oberfläche) der Ringoberfläche 52a der Elektrode 52 sich entlang der Schraubenlinie des Schneidrands des Werkzeugs 1 bewegt.

Wie bei der ersten Ausführungsform ist der Elektrodenhalter 54 in dem Bearbeitungsgefäß 9 angeordnet, das mit dem Bearbeitungsfluid gefüllt ist. Anschließend werden die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 und die Steuereinheit 15 zum Positionieren der Elektrode 52 und des Werkzeugs 1 derart eingesetzt, daß die Ringoberfläche 52a der Randflanke 1a und der Randfläche 1b gegenüberliegt. Weiterhin synchronisiert die Bewegungsort-Steuerschaltung 62 die Z-Achsenbewegung und die Drehung des Werkzeugs 1 auf Basis von Eingangsinformationen, beispielsweise einem Helixwinkel  $\theta$  des zu bearbeitenden Werkzeugs 1, wie bei der ersten Ausführungsform. Beispielsweise wird in einem Fall der Bearbeitung eines Stirnfräser mit rechtsgängigem schraubenförmigen Zahn der Stirnfräser in Minusrichtung in einem Umfang von  $(360^\circ \times L \times \tan\theta) / (\pi D)$  gedreht, für den Bewegungsumfang der Hauptwelle 5 in Minus (nach oben gerichteter) Richtung, entsprechend der Schneidrandlänge L, und zwar durch die Bewegungsort-Steuerschaltung 16. Hierdurch gibt die Bewegungsort-Steuerschaltung 16 einen solchen Befehl an die Steuereinheit 15 ab, daß die Entladungssoberfläche (Ringoberfläche 52a) der Randflanke 1a folgt. Die Steuereinheit 15 steuert den Bewegungsumfang des X-Achsenantriebs 13, des Y-Achsenantriebs 14 und des Z-Achsenantriebs 7 und den Drehumfang des Drehwellenantriebs 8 derart, daß eine gewünschte Dreh- und Relativbewegung des Werkzeugs 1 erzielt wird.

Anschließend wird eine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 52 und der zu bearbeitenden Zahnoberfläche erzeugt, wodurch die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 aufgebaut wird. Weiterhin ist es dann, wenn keine elektrische Entladung zwischen der Elektrode 52 und der Zahnoberfläche vorliegt, möglich, die Reformierschicht 19 durch die konische Elektrode 52 mit großem Durchmesser zu schleifen oder polieren. Somit wird die Reformierschicht 19 einheitlich an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 aufgebaut, während der Schneidrand scharfgemacht wird. Insbesondere wird die Elektrode 52 gedreht, und sie gelangt in Kontakt zu der Randflanke 1a des Werkzeugs

1, während der Entladungsabschnitt in das Bearbeitungsfluid 1 eingetaucht ist. Hierdurch wird der Schneidrand durch die Oberflächenbehandlungselektrode 52 geschliffen oder poliert. Zusätzlich wird eine Spannung angelegt, und eine elektrische Entladung wird zwischen der Elektrode 52 und der bearbeiteten Zahnoberfläche derart erzeugt, daß die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a erzeugt wird. Hier kann die Oberflächenbehandlungselektrode 52 eine Scheibenform aufweisen, oder dieselbe Form wie ein Topscheiben-Planschleifer, der eine andere als die konische Form aufweist.

Ferner läßt sich der Kontaktwinkel der Elektrode 52 zu der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 geeignet einstellen, d. h. wie in derselben Weise wie in der fünften Ausführungsform, so daß die Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des Werkzeugs mit einer exzentrischen Reliefschärfung aufgebaut wird, während der Schneidrand scharf ausgebildet wird. Ein Winkel zum Durchführen der exzentrischen Schärfung kann durch die Schritte S15, und dergleichen, nach dem Flußdiagramm der Fig. 15 und 16 festgelegt werden, obgleich dessen detaillierte Beschreibung zur Vermeidung von Redundanz weggelassen ist.

#### Siebte Ausführungsform

Die Fig. 21 zeigt einen Hauptabschnitt eines Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Behandlungsbearbeitung gemäß einer siebten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 21 gezeigt, ist dies Ausführungsform für den Einsatz bei einer Oberflächenbehandlung eines umlaufenden Werkzeugs wie einem Stirnfräser oder einem Spiralbohrer mit exzentrisch geschärftem Zahn wie bei der fünften Ausführungsform angeglichen. Eine Oberflächenbehandlungselektrode 62 ist aus einer Komponente aus einer Reformierschicht gebildet, d. h. derselben Komponente wie derjenigen der ersten Ausführungsform, und zwar in eine Scheibenform mit festgelegter Dicke. Die Oberflächenbehandlungselektrode 62 wird an einem Elektrodenhalter 64 gehalten. Der Elektrodenhalter 64 nimmt hierin einem Motor 64a zum Drehen der Elektrode 62 auf, zusätzlich zu der gleichen Struktur wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehung des Motors 64a durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Der Elektrodenhalter 64 ist in der Neigungsrichtung (vertikal) T neigbar, wie der Halter 4 der ersten Ausführungsform, so daß sich die Flanke 1a des Werkzeugs 1 gegenüber der Mittenachse mit festgelegtem Winkel neigen läßt. Die Oberflächenbehandlungselektrode 52 weist eine Entladungssoberfläche auf, die durch eine Außenumfangssoberfläche 62a definiert ist, die der Flanke 1a des Schneidrands des Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Weiterhin kann die Elektrode 62 eine Schneidbearbeitung durchführen, beispielsweise ein mechanisches Schleifen oder Polieren oder dergleichen, indem eine Kontaktbildung der Randoberfläche 62a mit dem Werkzeug 1 erfolgt. Das umlaufende Werkzeug 1 wird in Z-Achsenrichtung über die Hauptwelle 5 bewegt, bei gleichzeitiger Drehung über die Drehwelle 6 unter Steuerung der Steuereinheit 15 und der Bewegungsort-Steuerschaltung 16, in derselben Weise wie die erste Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 64 ist bei einer festgelegten Position des X-Tisches gesichert, wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Hierdurch wird die Position der Elektrode 62 in X-Achsen- und Y-Ach-

senrichtung durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Somit lassen sich das Werkzeug 1 und die Elektrode 62 gesteuert zur gleichen Zeit gemäß einer oder zwei oder drei Achsenrichtungen der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung bewegen. Hier zeigt Fig. 21 einen Zustand, in dem die Mittenachse des Halters 64 vorab in der Neigungsrichtung T so geneigt ist, daß er sich nach oben unter Kreuzung der X-Achsenrichtung erstreckt, da die Elektrode 62 die Randoberfläche 62a zum Definieren der Entladungsüberfläche sowie der Schleif- oder Polieroberfläche aufweist. In dem Fall einer exzentrischen Flanke wird ein derartiger Neigungswinkel so festgelegt, daß die Achse des Halters 64 und der Elektrode 62 mit einem Winkel von  $\alpha$  für eine exzentrische Reliefschärfung bezogen auf die Z-Achsenrichtung geneigt sind. Andererseits wird er im Fall einer Flanke mit flacher Reliefschärfung so festgelegt, daß die Achse des Halters 64 an der Elektrode 62 sich in Z-Achsenrichtung erstrecken.

Obgleich in der Zeichnung nicht gezeigt, sind die mechanischen und elektrischen Strukturen dieser Ausführungsform im wesentlichen die gleichen wie diejenigen der ersten Ausführungsform.

Der Elektrodenhalter 64 sowie der Z-Achsenantrieb 7 und der Drehwellenantrieb 8 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 62 der siebten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der siebten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Das umlaufende Werkzeug 1 mit einer exzentrischen Reliefschärfung wird an dem Spannfutter 3 montiert. Die Oberflächenbehandlungselektrode 62 ist relativ zu dem zu behandelnden Schneidrand des Werkzeugs 1 positioniert, beispielsweise gemäß dem Prozeßablauf nach dem Flußdiagramm der zweiten Ausführungsform, gezeigt in den Fig. 15 und 16. Weiterhin ist die Elektrode 62 so festgelegt, daß deren Mittenachse A-A mit einem Winkel  $\alpha$  zu der Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 gezeigt ist, wie in Fig. 21 gezeigt. Der Neigungswinkel  $\alpha$  hängt von dem Durchmesser D des Werkzeugs ab. Es gilt, den Winkel  $\alpha$  auf einen solchen Wert einzustellen, bei dem eine exzentrische Reliefschärfung in einer üblichen Schleifmaschine durchgeführt wird. Beispielsweise wird der Neigungswinkel  $\alpha$  auf ungefähr 9° dann eingestellt, wenn das Werkzeug 1 ein Stirnfräser mit einem Durchmesser von 10 mm ist. Andererseits kann der Winkel  $\alpha$  ein Winkel sein, der durch den Ausdruck ( $\tan \alpha = \tan \beta \tan \theta$ ) nach Fig. 21 berechnet ist, derart, daß  $\beta$  ein Randfreiwinkel und  $\theta$  ein Helixwinkel bei dem Werkzeug 1 sind. Anschließend bearbeitet die Elektrode 62 den Schneidrand des Werkzeugs 1 durch elektrische Entladung, während es diesem folgt, in Übereinstimmung mit dem synchronisierten Betrieb der Relativ- und Vertikalbewegung der Drehung des Werkzeugs 1 bei dieser Ausführungsform. Die Bearbeitung wird in Übereinstimmung mit der Zahl der Zähne des zu behandelnden umlaufenden Werkzeugs 1 wiederholt. Mit diesem Prozeß wird die Reformierschicht 19 einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 mit einer exzentrischen Reliefschärfung aufgebaut. Ein derartiger elektrischer Entladungsbetrieb kann im wesentlichen durch denselben Prozeß wie demjenigen der vierten oder sechsten Ausführungsform durchgeführt werden. Bei dem obigen Prozeß ist es vorzuziehen, die Elektrode 62 mit einer konstanten Geschwindigkeit während der elektrischen Bearbeitung zu drehen.

Weiterhin wird sich selbst im Fall der Behandlung des umlaufenden Werkzeugs 1 mit einer flachen Reliefschärfung ein Zahn hiervon durch die Oberflächenbehandlung bearbeitet, unter Veränderung in eine Form mit einer exzentrischen Reliefschärfung. Insbesondere ist die Elektrode 62 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 in derselben Weise wie oben beschrieben positioniert. Anschließend folgt die Elektrode 62 dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und behandelt dieses durch elektrische Entladungsbearbeitung in Übereinstimmung mit dem Prozeß zum Drehen und für die Relativbewegung des Werkzeugs 1 und der Elektrode 2 beispielsweise gemäß der ersten, vierten und fünften Ausführungsform. In diesem Zeitpunkt wird die Bearbeitung mit einer solchen Entladungsenergie durchgeführt, daß das Basismaterial, d. h. der Schneidrand des Werkzeugs 1, während der Bearbeitung entfernt wird, so daß die Reformierschicht 19 auf der bearbeiteten Zahnoberfläche aufgebaut wird, während die Flanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 von einer flachen Form in eine exzentrische Form verändert wird. Der Prozeß wird entsprechend der Zahl der Zähne des zu behandelnden Werkzeugs 1 wiederholt. In diesem Zeitpunkt läßt sich ein Winkel für die exzentrische Schärfung anhand der Schritte S16 und dergleichen des Flußdiagramms nach Fig. 15 und 16 festlegen, obgleich dessen detaillierte Beschreibung zur Vermeidung von Redundanzen weggelassen ist.

#### Achte Ausführungsform

Die Fig. 22 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer achten Ausführungsform der Erfindung.

Grundlegend weist das Gerät der vorliegenden Ausführungsform eine umgekehrte Positionsbeziehung des umlaufenden Werkzeugs 1 und einer Oberflächenbehandlungselektrode 72 relativ zu der siebten Ausführungsform auf, wie in Fig. 22 gezeigt. Insbesondere ist diese Ausführungsform für den Einsatz bei einer Oberflächenbehandlung eines umlaufenden Werkzeugs angeglichen, beispielsweise einem Stirnfräser oder einem Spiralbohrer, mit exzentrisch geschärften Zähnen wie bei der fünften Ausführungsform. Die Oberflächenbehandlungselektrode 72 wird aus einer Komponente einer Reformierschicht gebildet, beispielsweise derselben Komponente wie derjenigen der ersten Ausführungsform, und zwar in Scheibenform mit festgelegter Dicke. Das umlaufende Werkzeug 1 wird an einem Elektrodenhalter 74 gehalten. Der Elektrodenhalter 74 nimmt hier in einen Motor 74a zum Drehen des Werkzeugs 1 auf, zusätzlich zu derselben Struktur wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform. Anschließend wird die Drehung des Motors 74a durch die Steuereinheit 15 gesteuert. Der Elektrodenhalter 74 ist in einer Neigungsrichtung (vertikal) T neigbar, wie der Halter 4 der ersten Ausführungsform, so daß die Flanke 1a des Werkzeugs 1 sich gegenüber der Mittenachse mit festgelegtem Winkel neigen läßt. Die Oberflächenbehandlungselektrode 72 weist eine Entladungsüberfläche auf, definiert durch eine Außenrandoberfläche 72a, die der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Weiterhin ist die Elektrode 72 in der Lage, eine Schneidbearbeitung durchzuführen, beispielsweise ein mechanisches Schleifen oder Polieren oder dergleichen, durch Kontaktieren der Randoberfläche 72a mit dem Werkzeug 1. Die Elektrode 72 wird in dem Spannfutter 3 über eine Verbindungswelle 71 gehalten und durch die Dreh-

welle 6 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht. Weiterhin wird die Elektrode 72 in Z-Achsenrichtung über die Hauptwelle 5 durch den Z-Achsenantrieb 7 bewegt, während deren Position durch die Steuereinheit 15 in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform gesteuert wird.

Andererseits wird das umlaufende Werkzeug 1 ko-axial an dem Elektrodenhalter 74 gehalten. Der Halter 74 ist bei einer festgelegten Position an dem X-Tisch 11 gesichert, so daß das Werkzeug 1 in X-Achsen- und Y-Achsenrichtung durch den X-Tisch 11 und den Y-Tisch 12 durch den X-Achsenantrieb 13 und dem Y-Achsenantrieb 14 bewegt wird, während seine Position durch die Steuereinheit 15 gesteuert wird. Der Halter 74 ist so angeordnet, daß sich seine Achse parallel zu dem X-Tisch erstreckt, als Standardposition, so daß die Achse des Werkzeugs 1 sich parallel zu dem X-Tisch in X-Achsenrichtung erstreckt.

Hierfür werden das Werkzeug 1 und die Elektrode 72 relativ zur gleichen Zeit bewegt, gemäß einer oder zwei-er oder dreier Achsenrichtungen der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung.

Der Elektrodenhalter 74 einschließlich des Motors 74a und der Z-Achsenantrieb 7 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselek-  
trode 72 der achten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der achten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Die Oberflächenbehandlungselektrode 72 ist in dem Spannfutter 3 über die Verbindungsstelle 71 montiert. Das umlaufende Werkzeug 1 mit exzentrischer Reliefschärfung ist an dem Elektrodenhalter 74 montiert. Die Oberflächenbehandlungselektrode 72 ist relativ zu einer behandelten Oberfläche des Schneidrands des Werkzeugs 1 positioniert, durch die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 und die Steuereinheit 15. In diesem Zeitpunkt wird das Werkzeug 1 so festgelegt, daß dessen Mittenlinie O-O (vgl. Fig. 21) mit festgelegtem Winkel zu der Mittenlinie A-A (vgl. Fig. 21) der Elektrode 72 geneigt ist. Der Neigungswinkel ist in derselben Weise wie bei der siebten Ausführungsform festgelegt und er hängt von dem Durchmesser D des Werkzeugs 1 ab. Andererseits kann der Neigungswinkel ein solcher sein, der durch den Ausdruck ( $\tan\alpha = \tan\beta \cdot \tan\theta$ ) wie bei der siebten Ausführungsform berechnet ist, derart, daß  $\beta$  ein Randfreiwinkel und  $\theta$  ein Helixwinkel bei dem Werkzeug 1 sind. Anschließend bearbeitet die Randoberfläche 72a der Elektrode 72 den Schneidrand des Werkzeugs 1 durch elektrische Entladung, während es diesem folgt, in Übereinstimmung mit dem Betrieb der Relativ- und Vertikalbewegung und Drehung des Werkzeugs 1 beispielsweise bei der ersten, zweiten oder dritten Ausführungsform. Die Bearbeitung wird in Übereinstimmung mit der Zahl der Zähne des zu behandelnden umlaufenden Werkzeugs 1 wiederholt. Durch diesen Prozeß wird die Reformierschicht einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 mit einer exzentrischen Reliefschärfung gebildet.

Ferner läßt sich selbst im Fall der Behandlung des umlaufenden Werkzeugs 1 mit einer flachen Reliefschärfung ein Zahn hier von durch die Oberflächenbehandlung bearbeiten, bei Veränderung in eine Form mit exzentrischer Reliefschärfung wie bei der siebten Ausführungsform. Insbesondere ist die Elektrode 72 an dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 in derselben Weise wie oben positioniert. Anschließend folgt die Elektrode 72 dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und sie

behandelt dieses durch elektrische Entladungsbearbeitung, entsprechend dem obigen Prozeß zum Drehen und für die Relativbewegung des Werkzeugs 1 und der Elektrode 72. Wird in diesem Zeitpunkt die Bearbeitung mit einer solchen Entladungsenergie durchgeführt, daß das Basismaterial, d. h. der Schneidrand des Werkzeugs 1, beim Bearbeiten entfernt wird, so wird die Reformierschicht 19 an der bearbeiteten Zahnoberfläche gebildet, während die Flanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 ausgehend von einer flachen Form in eine exzentrische Form verändert wird. Dieser Prozeß wird gemäß der Zahl der Zähne des zu bearbeitenden Werkzeugs 1 wiederholt. In diesem Zeitpunkt läßt sich ein Winkel zum Herstellen der exzentrischen Schärfung anhand der Schritte S16 und dergleichen des Flußdiagramms nach Fig. 15 und 16 festlegen, obgleich die detaillierte Beschreibung hiervon zum Vermeiden von Redundanz weggelassen ist.

#### Neunte Ausführungsform

Die Fig. 23 zeigt eine Gesamtstruktur eines Oberflächenbehandlungsgeräts durch elektrische Entladungsbearbeitung gemäß einer neunten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 23 gezeigt, ist diese Ausführungsform zum Einsatz bei einer Oberflächenbehandlung eines umlaufenden Werkzeugs angepaßt, beispielsweise einem Stirnfräser oder einem Spiralbohrer, mit exzentrisch geformtem Zahn, wie bei der fünften, siebten und achten Ausführungsform. Weiterhin weist das Gerät der vorliegenden Ausführungsform eine Struktur ähnlich zu derjenigen des Geräts der ersten Ausführungsform auf. Insbesondere weist eine Oberflächenbehandlungselektrode 82 eine ähnliche Struktur wie die Elektrode 2 der ersten Ausführungsform auf, während es aus einer Komponente einer Reformierschicht im runder Säulenform mit festgelegter Länge gebildet ist. Die Oberflächenbehandlungselektrode 82 wird an einem Elektrodenhalter 84 gehalten. Der Elektrodenhalter 84 ist an dem X-Tisch 11 in derselben Weise wie der Elektrodenhalter 4 der ersten Ausführungsform gesichert. Hierdurch werden das Werkzeug 1 und die Elektrode 82 relativ zueinander bewegt, und zwar zur selben Zeit in eine oder zwei oder drei Achsenrichtungen, gemäß der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung, in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Der Elektrodenhalter 84 nimmt hierin einen Motor 84a zum Drehen der Elektrode 82 auf, wie der Elektrodenhalter 44 der fünften Ausführungsform oder dergleichen. Der Elektrodenhalter 84 ist in der Neigungsrichtung (vertikal) T wie der Halter 4 der ersten Ausführungsform neigbar, so daß sich die Flanke 1a des Werkzeugs 1 zu der Mittenachse mit festgelegtem Winkel neigen läßt. Die Oberflächenbehandlungselektrode 82 weist eine Entladungsoboberfläche auf, die durch eine Endoberfläche 82 definiert ist, die der Flanke 1a oder dergleichen des Werkzeugs 1 gegenüberliegt, wie bei der ersten Ausführungsform. Weiterhin ist die Elektrode 82 in der Lage, eine Schneidbearbeitung durchzuführen, beispielsweise ein mechanisches Schleifen oder Polieren oder dergleichen, und zwar durch Kontaktbildung der Endoberfläche 82a mit dem Werkzeug 1.

Der Elektrodenhalter 84 sowie der Z-Achsenantrieb 7 und der Drehwellenentrieb 8 bilden einen Relativbewegungsantrieb für die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und der Oberflächenbehandlungselektrode 82 der neunten Ausführungsform.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts gemäß der siebten Ausführungsform wird hier nachfolgend beschrieben.

Die Oberflächenbehandlungselektrode 82 ist an dem Elektrodenhalter 84 montiert. Das umlaufende Werkzeug 1 mit exzentrischer Reliefschärfung ist an dem Spannfutter 3 montiert. Die Oberflächenbehandlungselektrode 82 ist mit einem Neigungswinkel  $\alpha$  schräggestellt. Insbesondere ist die Elektrode 82 so eingestellt, daß deren Mittenlinie A-A mit einem Winkel von  $\alpha$  zu der Mittenlinie O-O des Werkzeugs 1 geneigt ist, wie in Fig. 23 gezeigt. Anschließend wird die Elektrode 83 zu dem Schneidrand des zu behandelnden Werkzeugs 1 positioniert, beispielsweise auf der Grundlage desselben Prozesses, wie derjenige der zweiten Ausführungsform (vgl. Fig. 15 und 16). Der Neigungswinkel  $\alpha$  der Elektrode 82 hängt von dem Durchmesser des Werkzeugs 1 ab. Es ist ausreichend, den Winkel  $\alpha$  auf einen solchen Wert festzulegen, bei dem eine exzentrische Reliefschärfung in einer üblichen Schreibmaschine erfolgt. Beispielsweise wird der Neigungswinkel  $\alpha$  zu ungefähr  $9^\circ$  dann festgelegt, wenn das Werkzeug 1 ein Stirnfräser mit einem Durchmesser von D mit 10 mm ist. Andererseits kann der Neigungswinkel  $\alpha$  einen Wert aufweisen, der anhand des Ausdrucks ( $\tan\alpha = \tan\beta \tan\theta$ ) nach Fig. 23 berechnet ist, derart, daß  $\beta$  ein Randfreiwinkel und  $\theta$  ein Helixwinkel des Werkzeugs 1 ist. Anschließend bearbeitet die Elektrode 82 den Schneidrand des Werkzeugs 1 durch elektrische Entladung, während es diesem folgt, gemäß dem synchronisierten Betrieb der Relativvertikalbewegung und der Drehung des Werkzeugs 1, die gemäß der ersten Ausführungsform durchgeführt wird. Die Bearbeitung wird in Übereinstimmung mit der Zahl der Zähne des zu behandelnden umlaufenden Werkzeugs 1 wiederholt. Bei diesem Prozeß wird die Reformierschicht 19 einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs mit einer exzentrischen Reliefschärfung aufgebaut.

Weiterhin kann selbst im Fall der Behandlung des umlaufenden Werkzeugs 1 mit einer flachen Reliefschärfung ein Zahn hiervon durch die Oberflächenbehandlung bearbeitet werden, während er in eine Form mit exzentrischer Reliefschärfung verändert wird. Insbesondere wird die Endoberfläche der Elektrode 82 zu dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 in derselben Weise wie oben positioniert. Anschließend folgt die Elektrode 82 dem Schneidrand des Werkzeugs 1, und sie behandelt diesen durch elektrische Ladungsbearbeitung, gemäß dem obigen Prozeß zum Drehen und für die Relativbewegung des Werkzeugs 1 und der Elektrode 82. In diesem Zeitpunkt wird dann, wenn die Bearbeitung mit einer solchen Entladungsenergie durchgeführt wird, daß das Basismaterial, d. h. der Schneidrand des Werkzeugs 1, beim Bearbeiten entfernt wird, die Reformierschicht 19 an der bearbeiteten Zahnoberfläche aufgebaut, während die Flanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 ausgehend von einer flachen Form in eine exzentrische Form verändert wird. Dieser Prozeß wird gemäß der Zahl der Zähne des zu bearbeitenden Werkzeugs 1 wiederholt. In diesem Zeitpunkt läßt sich ein Winkel  $\alpha$  zum Herstellen der exzentrischen Schärfung anhand der Schritte S16 und dergleichen der Flußdiagramme nach Fig. 15 und 16 festlegen, obgleich deren detaillierte Beschreibung zum Vermeiden von Redundanz weggelassen ist.

## Zehnte Ausführungsform

Die Fig. 24 zeigt einen Hauptabschnitt eines Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Entladungsbearbeitung gemäß einer zehnten Ausführungsform der Erfindung.

Wie in Fig. 24 gezeigt, wird eine Oberflächenbehandlungselektrode 92 aus einer Komponente einer Reformierschicht gebildet, beispielsweise mit derselben Komponente wie die Elektrode 3 oder dergleichen der ersten Ausführungsform, und zwar in eine runde Säulenform mit festgelegter Länge. Die Elektrode 92 ist an dem Elektrodenhalter 4 gehalten. Das Werkzeug 1 und die Elektrode werden relativ zueinander bewegt, zur gleichen Zeit gemäß einer oder zweier oder dreier Achsenrichtungen, und zwar der X-Achsen-, Y-Achsen- und Z-Achsenrichtung, in derselben Weise wie bei der ersten Ausführungsform. Ein Hilfselement 26 weist einen Vorsprung auf, gemäß der Form der schraubenförmigen Spannut 1c des Werkzeugs 1, beispielsweise ein zu behandelnder Stirnfräser oder Spiralbohrer. Das Hilfselement 26 ist in die Spannut 1c eingepaßt, unter Bildung eines engen Kontakts mit der Randfläche 1b des Zahns des Werkzeugs 1. Die Hilfselemente 26 sind gemäß der Zahl der schraubenförmigen Spannuten 1c des Werkzeugs 1 vorbereitet und jeweils an die Spannuten 1c angepaßt. Weist das umlaufende Werkzeug 1 keine Schraubenlinie auf, und ist die Spannut linear oder mit geradliniger planer Form ausgebildet, so hat das Hilfselement 26 einen Vorsprung mit gerader planer Form, damit es an die gerade Spannut mit gleichzeitig engem Kontakt mit der Raumfläche 1b angepaßt werden kann. Das Hilfselement 26 definiert eine stetig zu der Schneidrandfläche 1a verlaufende Oberfläche in dem Fall, in dem es an die Spannut 1c des Werkzeugs 1 angepaßt ist.

Obgleich nicht detailliert gezeigt, stimmen die mechanische und elektrische Struktur dieser Ausführungsform im wesentlichen mit derjenigen der ersten Ausführungsform überein.

Ein Betrieb des Oberflächenbehandlungsgeräts der zehnten Ausführungsform wird nachfolgend beschrieben.

Zunächst wird das umlaufende Werkzeug 1 an dem Spannfutter der ersten Ausführungsform montiert. Anschließend wird das Hilfselement 26 in die Spannut 1c so eingepaßt, daß die äußere Randoberfläche des Hilfselements eine forlaufende Oberfläche zu der Flanke 1a des Werkzeugs 1 definiert. Hierauf werden das Werkzeug 1 und das Hilfselement 6, das in dem Spannfutter 3 gehalten ist, mit der Drehwelle 6 durch den Drehwellenantrieb 8 gedreht, während einer Vertikalbewegung mit der Hauptwelle 5 durch den Z-Achsenantrieb 7. In diesem Zeitpunkt sind die Vertikalbewegung und die Drehung synchronisiert, wie bei jeder obiger Ausführungsform. Insbesondere ist der Vertikalbewegungsumfang und der Drehumfang so festgelegt, daß eine Entladungs-oberfläche der Elektrode 93 sich entlang der Schraubenlinie mit dem Helixwinkel  $\theta$  des durch die elektrische Entladung zu bearbeitenden Werkzeugs 1 bewegt.

Anschließend wird eine Endoberfläche 92a als Entladungs-oberfläche der Elektrode 92 an der Randfläche 1a entlang der Schraubenlinie des Schneidrands bewegt, bei Aufrechterhaltung von deren Positionsbeziehung zu der Flanke 1a im Startzeitpunkt der Bearbeitung. Hier ist die Elektrode 92 zu dem Werkzeug 1 so positioniert, daß die Endoberfläche 92a der Flanke 1a gegenüberliegt, während sie hinter den Schneidrand hiervon voranschreitet.

Anschließend führt die Energiequelle 18 eine Spannung zum Erzeugen einer elektrischen Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode 92 zu, während die Elektrode 92 der bearbeiteten Zahnoberfläche folgt und während der Entladeabschnitt in das Bearbeitungsfluid 10 eingetaucht wird. Somit wird die Reformierschicht an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 aufgebaut. In diesem Zeitpunkt steht, wie in Fig. 24 gezeigt, das Hilfselement 26 im engen Kontakt zu der Randfläche 1b derart, daß es mit der Randflanke 1a egalisiert ist. Deshalb wird vermieden, daß der Schneidrand durch die elektrische Entladung stumpf wird, wenn das Hilfselement 26 nach der Bildung der Reformierschicht 19 durch die elektrische Entladung, erzeugt zwischen der Endoberfläche 92a der Elektrode 92 und der Zahnoberfläche, entfernt wird. Gleichzeitig läßt sich die Reformierschicht 19 vollständig bis zu dem Schneidrand der Flanke 1a des Werkzeugs 1 aufbauen. Weiterhin wird die Räumfläche 1b mit der Reformierschicht 19 ebenfalls mit der Dicke hierfür gebildet. Ferner verringert selbst dann, wenn die Entladungsüberfläche der Elektrode 92 über den Schneidrand hinausgeht, das Hilfselement 26 die elektrische Entladungskonzentration an dem Schneidrandabschnitt des Werkzeugs 1, wodurch Einflüsse hierauf vermieden werden, beispielsweise das Eindämmen des Abstumpfens des Schneidrands.

Während der Relativbewegungsantrieb bei jeder der obigen Ausführungsformen den Drehwellenantrieb 8 enthält, sowie den Z-Achsenantrieb 7 oder dergleichen, um die Drehwelle 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zueinander zu bewegen, ist jede Modifikation möglich, solange sie die Relativbewegung des umlaufenden Werkzeugs 1 und des Elektrodenhalters zum Halten der Elektrode derart steuern kann, daß die Entladeoberfläche der Elektrode der behandelten Oberfläche des Schneidrands des Werkzeugs 1 folgt.

Bei dem Oberflächenbehandlungsgerät jeder der obigen Ausführungsformen werden der Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zueinander bewegt, bei Aufrechterhaltung einer Beziehung  $(360^\circ \times L \tan \theta) / (\pi x D)$  zwischen der Drehung und dem Vorschub der Schneidrandlänge in Axialrichtung des Werkzeugs 1, dann, wenn das Werkzeug 1 einen Helixwinkel  $\theta$  aufweist, sowie eine Schneidrandlänge  $L$  zum Bilden der Reformierschicht 19 und einen Durchmesser  $D$ . Jedoch ist es möglich, daß die elektrische Entladungsbearbeitung lediglich dann durchgeführt wird, wenn die Randflanke 1a des Werkzeugs 1 der Elektrode gegenüberliegt, während die Drehgeschwindigkeit schneller als die Bewegungsgeschwindigkeit in Axialrichtung des Werkzeugs 1 ausgebildet wird. Weiterhin kann der Rand des Werkzeugs 1 wiederholt parallel zu der Längsrichtung beim Durchführen der elektrischen Entladungsbearbeitung bewegt werden.

Insbesondere wird bei jeder obigen Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Entladungsbearbeitung die Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 durch die Oberflächenbehandlungselektrode 2, 42, 52, 62, 72, 82, 92 aufgebaut, bestehend aus einem Reformiermaterial. Sie kann mit einer Struktur gemäß dem folgenden Merkmal ausgeführt sein. Dies bedeutet, daß die Oberflächenbehandlungselektrode bestehend aus dem Reformiermaterial die Reformierschicht an dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 durch elektrische Entladung für das Werkzeug 1 aufbaut. Der Relativbewegungsantrieb dreht das Werkzeug 1, und er bewegt das Werkzeug 1

und die Elektrode relativ zueinander derart, daß diese einander gegenüberliegen. Der Relativbewegungsantrieb kann auf mehrere Weisen gebildet sein, beispielsweise durch eine der folgenden Kombinationen: dem 5 Drehwellenantrieb 8 und dem Z-Achsenantrieb 7; dem Elektrodenhalter 24, dem X-Achsenantrieb 13 und dem Y-Achsenantrieb 14; dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8 mit dem Elektrodenhalter 34, dem X-Achsenantrieb 13 und dem Y-Achsenantrieb 14; dem 10 Elektrodenhalter 44 und dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8; dem Elektrodenhalter 54 und dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8; dem Elektrodenhalter 64 und dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8; mit dem Elektrodenhalter 74 und dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8; dem Elektrodenhalter 84 und dem Z-Achsenantrieb 7 und dem Drehwellenantrieb 8. Die Energiequelle für die elektrische Entladung 18 führt eine Spannung zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und der Elektrode zu.

Mit der obigen Struktur läßt sich das folgende Oberflächenbehandlungsverfahren für elektrische Entladungsbearbeitung zum Aufbauen der Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 durch die Elektrode anpassen. Bei dem Verfahren liegt die Elektrode entgegengesetzt zu dem Werkzeug 1 entlang dem Schneidrand vor, während die elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode erzeugt wird, wodurch die Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 aufgebaut wird.

Demnach läßt sich die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a und der Randfläche 1b des Werkzeugs 1 erzeugen, wenn das Werkzeug 1 gedreht wird, während die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zu dem Werkzeug 1 derart bewegt wird, daß sie den Schneidrand hiervon gegenüberliegt, und zwar durch den Relativbewegungsantrieb bestehend aus beispielsweise dem Drehwellenantrieb 8 und dem Z-Achsenantrieb 7, und während durch die Energiequelle 18 die Spannung zugeführt wird, damit die elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode durch die Energiequelle 18 erzeugt wird. Hierdurch läßt sich die Reformierschicht 19 einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 derart aufbauen, daß sich die Werkzeugebensdauer erheblich verlängern läßt und sich die Schärfe des Schneidrands verbessern läßt.

Weiterhin kann bei jeder obigen Ausführungsform des Oberflächenbehandlungsgeräts mit elektrischer Entladung diese in einer Struktur ausgeführt sein, die die folgenden Merkmale zusätzlich zu den obigen Merkmalen aufweist. Insbesondere ist der Relativbewegungsantrieb durch den Drehwellenantrieb 8 und den Z-Achsenantrieb 7 gebildet, zum Drehen des Werkzeugs 1 während einer Bewegung der Elektrode relativ zu dem Werkzeug 1 derart, daß sie dem Schneidrand hiervon gegenüberliegt. Die Energiequelle 18 führt eine Spannung zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und der Elektrode zu. Die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 detektiert die Zwischenpolspannung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode. Die Steuereinheit 17 steuert die elektrische Entladung, die zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und der Elektrode erzeugt wird, und zwar auf Basis des Ausgangssignals der Zwischenpol-Schaltung 17.

Mit der obigen Struktur läßt sich das folgende Verfahren anpassen, indem eine spezifische Kontrolle durchgeführt wird. Insbesondere wird die Relativposition der Elektrode zu dem Schneidrand des Zahns des

Werkzeugs 1 detektiert. Anschließend wird diese Position korrigiert, auf Basis einer Korrekturinformation, bestehend aus zumindest einer Größe der folgenden Werte: Randfreiwinkel  $\beta$  und Anschnittswinkel  $\gamma$  des Werkzeugs 1, sowie Durchmesser D der Elektrode, derart, daß die Positionen des Werkzeugs 1 und der Elektrode bestimmt sind. Anschließend werden das Werkzeug 1 und die Elektrode relativ bewegt, während die Elektrode dem Werkzeug 1 entlang dem Schneidrand gegenüberliegt. Gleichzeitig wird die elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode erzeugt, wodurch die Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 hergestellt wird.

Im Detail ist der Schneidrand des zu bearbeitenden Werkzeugs 1 zum Start an der Elektrode positioniert, die aus einem Oberflächenbehandlungsmaterial gebildet ist, in einfacher Form, beispielsweise einer runden Säule oder einer rechteckigen Säule. Anschließend wird der Kontaktzustand des bearbeiteten Schneidrands und der Elektrode so detektiert, daß die Positionsbeziehung zwischen der bearbeiteten Oberfläche des Schneidrands und der Entladungsüberfläche der Elektrode identifiziert wird. Anschließend werden deren Positionen automatisch so korrigiert, daß die bearbeitete Oberfläche des Schneidrands und der Entladungsüberfläche der Elektrode eine festgelegte Positionsbeziehung annehmen. Anschließend folgt die Elektrode der Zahnoberfläche des helixförmigen oder geradlinigen Schneidrands, während sich die Bearbeitungsüberfläche für die elektrische Bearbeitung mit einer konstanten Geschwindigkeit bewegt. Somit wird die Reformierschicht 19 entlang der gesamten Länge des Schneidrands des Werkzeugs 1 aufgebaut.

Entsprechend läßt sich die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a und der Randfläche 1b des Werkzeugs 1 erzeugen. Insbesondere steuert die Steuereinheit 15 die zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs 1 und der Elektrode erzeugte elektrische Entladung. Hierfür ist es möglich, eine stabile elektrische Entladung zu erzielen und die Reformierschicht 19, die an der Flanke 1a und der Randfläche 1b des Werkzeugs 1 hergestellt wird, gleichmäßig auszubilden.

Insbesondere weist bei der dritten bis neunten Ausführungsform die Oberflächenbehandlungselektrode 42, 52, 62, 72 eine Scheibenform oder eine Kegelform auf. Die Relativposition wird zwischen der Elektrode und dem Schneidrand des Werkzeugs 1 detektiert. Die Position wird auf der Grundlage der Korrekturinformation korrigiert, bestehend aus zumindest einer Größe der folgenden Werte: Randfreiwinkel  $\beta$ , Anschnittswinkel  $\gamma$  des Werkzeugs 1, sowie Durchmesser d der Elektrode, so daß die Positionen des Werkzeugs 1 und der Elektrode bestimmt werden. Anschließend wird die Elektrode mit Scheibenform oder dergleichen gedreht und relativ zu dem Werkzeug 1 entlang dem Schneidrand hiervon bewegt, während sie diesem gegenüberliegt. Gleichzeitig wird die elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode erzeugt, wodurch die Reformierschicht 19 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 gebildet wird. Im selben Zeitpunkt wird der Schneidrand des Werkzeugs 1 durch die Schneidbearbeitung unter Einsatz der Elektrode geschärft.

Demnach ist es möglich, die beste Position für die elektrische Entladungsbearbeitung zwischen der Elektrode und dem Werkzeug 1 automatisch festzulegen. Weiterhin wird die Spannung zum Erzeugen der elektrischen Entladung zwischen dem Werkzeug 1 und der Elektrode so zugeführt, daß sich die Reformierschicht

19 an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 erzeugen läßt. Zusätzlich läßt sich die Reformierschicht 19 einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 aufbauen, und die Werkzeugelebensdauer läßt sich erheblich verlängern.

5 Weiterhin ist es möglich, den Schneidrand scharf für das weitere Schneiden der Reformierschicht 19 durch die Elektrode herzustellen.

Jede der obigen Ausführungsformen fixiert entweder das Werkzeug 1 oder die Elektrode, bei gleichzeitiger 10 Bewegung der jeweiligen anderen Komponente, so daß sich eine übliche elektrische Gravur-Entladungsbearbeitung, so wie sie ist, einsetzen läßt. Weiterhin läßt sich der Prozeßmechanismus vereinfachen, da die Entladungsüberfläche der Elektrode die Randflanke 1a mit 15 gerader oder schraubenlinienförmiger Form des Werkzeugs 1 bearbeitet, während sie dem Schneidrand folgt, und zwar durch den Dreh- und Vertikalbewegungsbetrieb des Werkzeugs 1.

Ferner werden die Relativpositionen und die Positionenbeziehung der Elektrode und des Werkzeugs 1 dadurch bestimmt, daß der Kontakt der Elektrode mit dem Schneidrand 1 detektiert wird, so daß sie an festgelegten Positionen plaziert sind. Somit kann selbst dann, wenn ein anderer Typ von Oberflächenbehandlungselektrode 25 oder umlaufendem Werkzeug eingesetzt wird, das erfindungsgemäße Gerät eine derartige Veränderung haben. Zusätzlich werden nach dem obigen Relativpositions-Detektorbetrieb die Positionen der Elektrode und des Werkzeugs 1 zu festgelegten Positionen korrigiert. 30 Somit ergibt sich keine unbeabsichtigte Veränderung beim Einstellen der Positionen, und es läßt sich eine Veränderung der Ergebnisse bei der Bearbeitung verhindern.

Bei der vierten bis neunten Ausführungsform gemäß 35 den obigen Strukturen ist der Winkel  $\alpha$  zwischen der Entladungsüberfläche der Elektrode und der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 gleich zu einem Winkel, bei dem eine exzentrische Reliefschärfung bei der Randflanke 1a des umlaufenden Werkzeugs 1 erfolgt. Anschließend wird eine elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 mit einer exzentrischen Reliefschärfung und der Oberflächenbehandlungselektrode erzeugt, während 40 die Elektrode relativ zu dem Werkzeug 1 entlang dem Schneidrand hiervon bewegt wird. Hierdurch wird die Reformierschicht 19 an der exzentrisch geschärften Randflanke 1a des Werkzeugs aufgebaut.

Demnach läßt sich die Reformierschicht 19 am Schneidrand des Werkzeugs 1 dadurch bilden, daß eine Spannung zugeführt wird und die elektrische Entladung zwischen dem Werkzeug 1 mit exzentrischer Reliefschärfung der Elektrode erzeugt wird. Somit ist es möglich, die behandelte Oberfläche entsprechend der Eigenschaft des umlaufenden Werkzeugs 1 lediglich mit exzentrischer Ladungsbearbeitung umzuformen. Weiterhin wird die Reformierschicht 19 einheitlich an dem Schneidrand des Werkzeugs 1 so gebildet, daß die Werkzeugelebensdauer drastisch verlängert wird und die Schärfe des Schneidrands verbessert ist.

Bei der vierten bis neunten Ausführungsform gemäß 60 dem obigen Verfahren wird die elektrische Entladungsbearbeitung mit einer solchen Entladungsenergie durchgeführt, daß das Basismaterial des umlaufenden Werkzeugs 1 gleichmäßig bearbeitet wird. Hierdurch wird die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a des Werkzeugs 1 hergestellt, und die Flanke 1a wird gleichzeitig exzentrisch geschärft.

Demnach läßt sich die Form der Randflanke 1a ausgehend von einer flachen in eine exzentrische verändern,

ohne Einsatz einer mechanischen Schleifmaschine, insbesondere durch Durchführung der elektrischen Entladungsbearbeitung mit festgelegter elektrischer Bedingung, d. h. bei einer Entladungsenegie zum Bearbeiten des Basismaterials des Werkzeugs 1. Hierdurch ist es möglich, die Kosten für ein erneutes Schleifen oder der gleichen zu reduzieren.

Bei jeder zehnten Ausführungsform mit der obigen Struktur ist das Hilfselement 26 in die Spannute 1c des umlaufenden Werkzeugumlaufenden Werkzeugs 1 eingepaßt, während es in engem Kontakt zu der Randfläche 1b steht, wodurch eine fortlaufende Oberfläche zu der Randflanke 1a definiert ist. Anschließend wird eine elektrische Entladung zwischen dem Schneidrand des Werkzeugs 1 mit dem Hilfselement 26 und der Oberflächenbehandlungselektrode 92 aus dem Reformiermaterial erzeugt, während die Elektrode 92 relativ entlang dem Schneidrand des Werkzeugs 1 bewegt wird, wodurch die Reformierschicht 19 an der Randflanke 1a gebildet wird. Anschließend wird das Hilfselement 26 entfernt. Demnach wird vermieden, daß der Schneidrand aufgrund der elektrischen Entladung stumpf wird, indem bewirkt wird, daß das Hilfselement 26 den zu behandelnden Schneidrand berührt. Hierdurch läßt sich die Werkzeuglebensdauer verlängern, ohne daß sich die Schärfe des zu bearbeitenden umlaufenden Werkzeugs 1 verschlechtert.

Bei der obigen Ausführungsform werden der Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 und die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zueinander bewegt, unter Aufrechterhaltung einer Beziehung  $(360^\circ \times L \tan \theta) / (\pi x D)$  zwischen der Drehung und dem Vorschub entlang der Schneidrandlänge in Axialrichtung des Werkzeugs 1, in dem Fall, in dem das Werkzeug 1 einen Helixwinkel  $\theta$  aufweist, sowie eine Schneidrandlänge L zum Bilden der Reformierschicht 19 und einen Durchmesser D.

Demnach wird die Relativanordnung zwischen der behandelten Oberfläche des Werkzeugs 1 und der Elektrode anhand des Helixwinkels  $\theta$  erhalten, sowie der Schneidrandlänge L, dem Durchmesser D und der Helixrichtung des Zahns, so daß sich eine derartige Ortsbeziehung leicht erzeugen läßt. Weiterhin bewegen sich die Elektrode und die behandelte Oberfläche des Werkzeugs 1 relativ zueinander mit konstanter Geschwindigkeit, wodurch die Schwankung des elektrischen Entladungsbearbeitungszustands für die behandelte Oberfläche abnimmt. Somit ist es möglich, die an der Flanke 1a des Werkzeugs 1 erzeugte Reformierschicht 19 im Hinblick auf die Dicke Oberflächenrauhigkeit oder dergleichen einheitlich auszubilden. Ferner kann aufgrund der Tatsache, daß der Helixwinkel  $\theta$ , die Schneidrandlänge L und dergleichen des bearbeiteten Werkzeugs 1 als Daten zum Erzeugen der Ortsbeziehung eingesetzt werden, das umlaufende Werkzeug 1 ohne schraubenlinienförmigen Schneidrand bearbeitet werden.

Die Oberflächenbehandlungselektrode 2 der ersten bis dritten Ausführungsform ist mit festgelegtem Winkel so gesichert, daß sie dem Schneidrand gegenüberliegt. Demnach kann der Mechanismus zum Sichern der Elektrode 2 weitestgehend vereinfacht sein.

Das Oberflächenbehandlungsgerät gemäß der vierten bis neunten Ausführungsform kann eine gegenüberliegende Oberflächenbehandlungselektrode zu dem Schneidrand des umlaufenden Werkzeugs 1 bewirken und den Neigungswinkel  $\alpha$  festlegen. Somit läßt sich der Einstellwinkel der Elektrode zu dem behandelten Schneidrand des Werkzeugs 1 frei auswählen. Somit ist

es möglich, das umlaufende Werkzeug 1 handzuhaben, bei dem die Randflanke 1a durch eine flache Reliefschärfung oder eine exzentrische Reliefschärfung gebildet ist.

5 Das Oberflächenbehandlungsgerät der vierten bis neunten Ausführungsform dreht die Oberflächenbehandlungselektrode derart, daß der Einfluß der Abmessung der Elektrode aufgrund der elektrischen Entladungsbearbeitung verringert ist. Weiterhin kann der Rand der Elektrode glatt hergestellt sein und dessen Abschlußgenauigkeit läßt sich verbessern. Weiterhin ist das mechanische Schleifen oder das exzentrische Reliefschärfen möglich. Ferner ist es möglich, das Streuen bei der elektrischen Entladungsbearbeitung für die behandelte Oberfläche abzusenken und die Dicke, die Rauigkeit oder dergleichen an der Randflanke des Werkzeugs 1 aufgebauten Reformierschicht 19 einheitlich auszubilden.

Bei den obigen Ausführungsformen ist es wichtig, die Relativbewegungsgeschwindigkeit (Vorschubgeschwindigkeit) des umlaufenden Schneidwerkzeugs 1 zu steuern, um den sequentiellen Prozeß beim Schneiden (Schleifen, Polieren oder dergleichen) aufrecht zu erhalten und hiernach die elektrische Entladung sukzessive durchzuführen. Insbesondere erfolgt bei einer normalen elektrischen Entladungsbearbeitung eine Steuerung zum Rückführen eines Elektrodenbearbeitungsorts im Zeitpunkt der Erzeugung eines Kurzschlusses oder dergleichen, beispielsweise ein Betrieb, der als "Kurzschluß-Rückführung" bezeichnet wird. Jedoch verschwindet bei der erfindungsgemäßen Oberflächenbehandlung durch eine derartige elektrische Entladungsbearbeitung der Kurzschluß während des Schneidbetriebs, so daß es nicht erforderlich ist, oft die Kurzschluß-Rückführung durchzuführen. Im Gegensatz hierzu besteht dann, wenn die Elektrode zu oft rückgeführt wird, die Bearbeitung hauptsächlich aus der elektrischen Entladungsbearbeitung. In diesem Fall ist es möglich, daß eine Dichte des durch das Schneidwerkzeug erzeugten Reformiermaterials zwischen den Elektroden abnimmt, so daß die Oberflächenreformiereffekte verschlechtert sind. Dies bedeutet, daß es bei der erfindungsgemäßen Oberflächenbehandlung durch elektrische Entladungsbearbeitung vorzuziehen ist, den Umfang des Elektrodenrückführbetriebs oder der Geschwindigkeit des Elektrodenvorschubs so zu steuern, daß das Schneiden und die elektrische Entladungsbearbeitung in einem geeigneten Verhältnis durchgeführt werden. Aus diesem Grund detektiert die Zwischenpol-Detektorschaltung 17 die Zwischenpolspannung zwischen den Elektroden, und sie berechnet eine Durchschnittsspannung und bestimmt einen Umfang entsprechend einer elektrischen Entladungsfrequenz, d. h. einen Bearbeitungsumfang der elektrischen Entladung auf Basis der Durchschnittsspannung. Die Steuereinheit 15 berechnet ein Verhältnis zwischen der elektrischen Entladungsbearbeitung und des Schneidvorgangs auf der Basis der obigen Ergebnisse und einer momentanen Werkzeug-Vorschubgeschwindigkeit. Anschließend steuert und verändert die Steuereinheit 15 die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit so, daß das Verhältnis auf einem geeigneten Wert gehalten wird. Weiterhin kann die Steuereinheit 15 die Dicke der Reformierschicht 19 dadurch verändern, daß sie die Werkzeugvorschubgeschwindigkeit verändert und das Verhältnis zwischen dem Schneidvorgang und der elektrischen Entladungsbearbeitung. Insbesondere ist es möglich, die Reformierschicht als dünne und einheitliche abzuschließen,

indem die Vorschubgeschwindigkeit verringert wird, in einem abschließenden Endfertigungsprozeß.

Die Stabilität der elektrischen Entladung wird durch die Drehgeschwindigkeit des Werkzeugs 1 beeinflußt. Demnach tritt dann, wenn die Umlaufgeschwindigkeit zu hoch ist, bei einem Entladungspunkt zwischen den Elektroden eine Schwankung im Hinblick auf eine elektrische Entladungsimpulsdauer auf. Hierdurch wird es schwierig, einen Entladungsbogen aufrecht zu erhalten, so daß ein Entladungswirkungsgrad verringert ist. Insbesondere dann, wenn die Drehgeschwindigkeit hoch ist, nimmt der Schneidwirkungsgrad zu, jedoch nimmt der Entladungswirkungsgrad ab und das Schneidverhältnis steigt an. Andererseits ist dann, wenn die Drehgeschwindigkeit niedrig ist, der Schneidwirkungsgrad abgesenkt, im Gegensatz zu vorher, und der Entladungswirkungsgrad wird hoch. Demnach ist es möglich, die Drehgeschwindigkeit zum Verändern des Verhältnisses zwischen der elektrischen Entladungsbearbeitung und dem Schneiden einzusetzen. Selbst wenn die Drehgeschwindigkeit dieselbe ist, unterscheidet sich eine Umfangsgeschwindigkeit gemäß dem Werkzeugdurchmesser. Somit ist es vorzuziehen, die Drehgeschwindigkeit auf einen geeigneten Wert gemäß dem Werkzeugdurchmesser zu steuern.

Bei jeder obigen Ausführungsform ist es nicht immer erforderlich, die Oberflächenbehandlungselektrode an der Innenseite des Bearbeitungsbehälters 9 in das Bearbeitungsfluid 1 einzutauchen, sowie den behandelten Abschnitt des umlaufenden Werkzeugs 1. Andererseits ist es möglich, die Reformierschicht 19 an der Randfläche 1a und der Randfläche 1b des Werkzeugs 1 durch das obige elektrische Bearbeitungsverfahren aufzubauen, während das Bearbeitungsfluid 10 auf einen Entladungsschnitt aufgesprührt wird.

Bei den obigen Ausführungsformen bildet der Elektrodenhalter 4, 34, 44, 54, 64, 84, 94 oder das Spannfutter 3 eine Sicherungsvorrichtung zum Sichern der Oberflächenbehandlungselektrode 2, 42, 52, 62, 72, 82 mit einem spezifischen Winkel derart, daß sie dem Zahn des umlaufenden Werkzeugs 1 gegenüberliegt. Weiterhin bildet der Elektrodenhalter 4, 34, 44, 54, 64, 84, 94 oder das Spannfutter 3 eine Montiervorrichtung zum Montieren der Oberflächenbehandlungselektrode 2, 42, 52, 62, 72, 92 entgegengesetzt zu dem Zahn des Werkzeugs 1, und die Montiervorrichtung ist in der Lage, einen Gegenwinkel der Oberflächenbehandlungselektrode zu dem Zahn festzulegen und zu verändern. Ferner bildet der Motor 4a, 34a, 44a, 54a, 64a, 84a oder ein Regelantrieb 8 eine Drehvorrichtung zum Drehen der Oberflächenbehandlungselektrode 2, 42, 52, 62, 72, 92.

Zusätzlich kann bei der fünften bis neunten Ausführungsform die Oberflächenbehandlungselektrode jede beliebige Drehkörperform aufweisen, im Gegensatz zu der Scheiben- oder Kegelform, solange sie eine gewünschte elektrische Entladungsbearbeitung durchführen kann, sowie eine Schneidbearbeitung, in derselben Weise wie oben beschrieben.

Bei der zweiten bis zehnten Ausführungsform wird die Elektrode bevorzugt in Axial- oder Radialrichtung bewegt, über den X-Achsen, Y-Achsen- oder Z-Achsenantrieb, unter Steuerung der Steuereinheit, derart, daß die Abnutzung aufgrund der elektrischen Entladung kompensiert ist, wie bei der ersten Ausführungsform angegeben.

Die hier beschriebenen bevorzugten Ausführungsformen sind illustrativ und nicht einschränkend, und der Schutzbereich der Erfindung wird durch die angefügten

Patentansprüche festgelegt, und sämtliche Veränderungen, die innerhalb der Bedeutung der Patentansprüche liegen, sollen durch diesen mit umfaßt sein.

#### Patentansprüche

1. Oberflächenbehandlungsverfahren durch elektrische Entladungsbearbeitung zum Bilden einer Reformierschicht (19) an einem Zahn eines umlaufenden Werkzeugs (1) durch eine Oberflächenbehandlungselektrode (2, 42, 52, 62, 72, 92), hergestellt aus einem Reformiermaterial, enthaltend:

einen ersten Schritt zum Plazieren der Oberflächenbehandlungselektrode gegenüber dem Zahn;

einen zweiten Schritt für die Relativbewegung der Oberflächenbehandlungselektrode entlang dem Zahn, bei Erzeugung einer elektrischen Entladung zwischen dem Zahn und der Oberflächenbehandlungselektrode, wodurch die Reformierschicht an dem Zahn gebildet wird.

2. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner enthält:

einen dritten Schritt zum Detektieren der Relativpositionen der Oberflächenbehandlungselektrode und eines Schneidrands des Zahns;

einen vierten Schritt zum Korrigieren der Relativpositionen auf der Grundlage der Korrekturinformationen bestehend aus zumindest einer Größe des Randfreiwinkels ( $\beta$ ) eines Anschnittwinkels des umlaufenden Werkzeugs sowie eines Durchmessers (d) der Oberflächenbehandlungselektrode; und

einen fünften Schritt zum Fixieren der Relativpositionen.

3. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberflächenbehandlungselektrode (42, 52, 62, 72) eine Drehkörperform aufweist;

die Oberflächenbehandlungselektrode in dem zweiten Schritt gedreht wird; und

der Schneidrand geerdet wird und durch die Dreh-

oberflächenbehandlungselektrode in dem zweiten Schritt geschärft wird.

4. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Winkel ( $\alpha$ ) definiert zwischen einer Entladungsoberfläche der Oberflächenbehandlungselektrode und einer Randfläche (1a) des Zahns festgelegt ist auf einen Winkel einer exzentrischen Reliefschärfung, die im zweiten Schritt bei der Randfläche durchgeführt wird.

5. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das umlaufende Werkzeug (1) ursprünglich eine exzentrisch geschärzte Flanke als Randflanke aufweist; und

die Reformierschicht auf der exzentrisch geschärften Flanke gebildet wird.

6. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das umlaufende Werkzeug ursprünglich eine flach geformte Flanke als Randflanke aufweist;

die elektrische Entladung in dem zweiten Schritt mit einer Entladungsenergie derart erzeugt wird, daß ein Basismaterial des umlaufenden Werkzeugs bearbeitet wird, wodurch die flach geschärzte Flanke in eine exzentrisch geschärzte Flanke geformt

wird, während die Reformierschicht an der exzentrisch geschärften Flanke geformt wird.

7. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ein Hilfselement (26) an das umlaufende Werkzeug in dem zweiten Schritt angepaßt wird, derart, daß es mit einer Randflanke des Zahns egalisiert ist und in engem Kontakt zu einer Randfläche (1b) des Zahns gelangt; und

das Hilfselement von dem umlaufenden Werkzeug nach dem zweiten Schritt entfernt wird.

8. Oberflächenbehandlungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zahn des umlaufenden Werkzeugs um die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zueinander in dem zweiten Schritt bewegt werden, unter Aufrechterhaltung der Drehung des umlaufenden Werkzeugs und bei Bewegung entlang einer Axialrichtung hiervon mit einer Beziehung  $(360^\circ \times L \times \tan\theta) / (\pi \times D)$  zwischen einer Drehung und einer Axialbewegung des umlaufenden Werkzeugs, derart, daß  $\theta$  ein Helixwinkel des Zahns ist,  $L$  eine Schneidrandlänge des Zahns ist, der mit der Reformierschicht gebildet wird, und  $D$  ein Durchmesser des umlaufenden Werkzeugs ist.

9. Oberflächenbehandlungsgerät mit elektrischer Entladungsbearbeitung, enthaltend: ein umlaufendes Werkzeug (1) mit einem Zahn; eine Oberflächenbehandlungselektrode (2, 42, 52, 62, 72, 92) hergestellt aus einem Reformiermaterial zum Bilden einer Reformierschicht (19) an dem Zahn; einen Relativbewegungsantrieb (7, 8, 13, 14, 24, 34, 44, 54, 64, 74, 84) zum Drehen des umlaufenden Werkzeugs und für eine Relativbewegung der Oberflächenbehandlungselektrode entlang dem Zahn bei Plazierung der Oberflächenbehandlungselektrode entgegengesetzt zu dem Zahn; und eine Energiequelle ( $\theta$ ) für die elektrische Entladung zum Zuführen einer Spannung zwischen dem Zahn und der Oberflächenbehandlungselektrode.

10. Oberflächenbehandlungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Zwischenpol-Detektorschaltung (17) zum Detektieren einer Zwischenpolspannung zwischen dem umlaufenden Werkzeug und der Oberflächenbehandlungselektrode enthält.

11. Oberflächenbehandlungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß es ferner eine Sicherungsvorrichtung (3, 4, 34, 44, 54, 64, 84, 94) zum Sichern der Oberflächenbehandlungselektrode enthält, mit einem solchen spezifischen Winkel, daß sie dem Zahn gegenüberliegt.

12. Oberflächenbehandlungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß sie ferner eine Montierzvorrichtung (3, 4, 34, 44, 54, 64, 84, 94) zum Montieren der Oberflächenbehandlungselektrode enthält, und zwar entgegengesetzt zu dem Zahn, derart, daß die Montierzvorrichtung in der Lage ist, einen Gegenwinkel der Oberflächenbehandlungselektrode zu dem Zahn einzustellen und zu verändern.

13. Oberflächenbehandlungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß sie ferner eine Drehvorrichtung (4a, 8, 34a, 44a, 54a, 64a, 84a) zum Drehen der Oberflächenbehandlungselektrode enthält.

14. Oberflächenbehandlungsgerät nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Relativbewe-

gungsantrieb den Zahn des umlaufenden Werkzeugs und die Oberflächenbehandlungselektrode relativ zueinander bewegt, unter Aufrechterhaltung der Drehung des umlaufenden Werkzeugs und einer Bewegung in Axialrichtung hiervon bei einer Beziehung von  $(360^\circ \times L \times \tan\theta) / (\pi \times D)$  zwischen einer Drehung und einer Axialbewegung des umlaufenden Werkzeugs, derart, daß  $\theta$  ein Helixwinkel des Zahns ist,  $L$  eine Schneidrandlänge des Zahns ist, der mit der Reformierschicht gebildet ist, und  $D$  ein Durchmesser des umlaufenden Werkzeugs.

Hierzu 20 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1

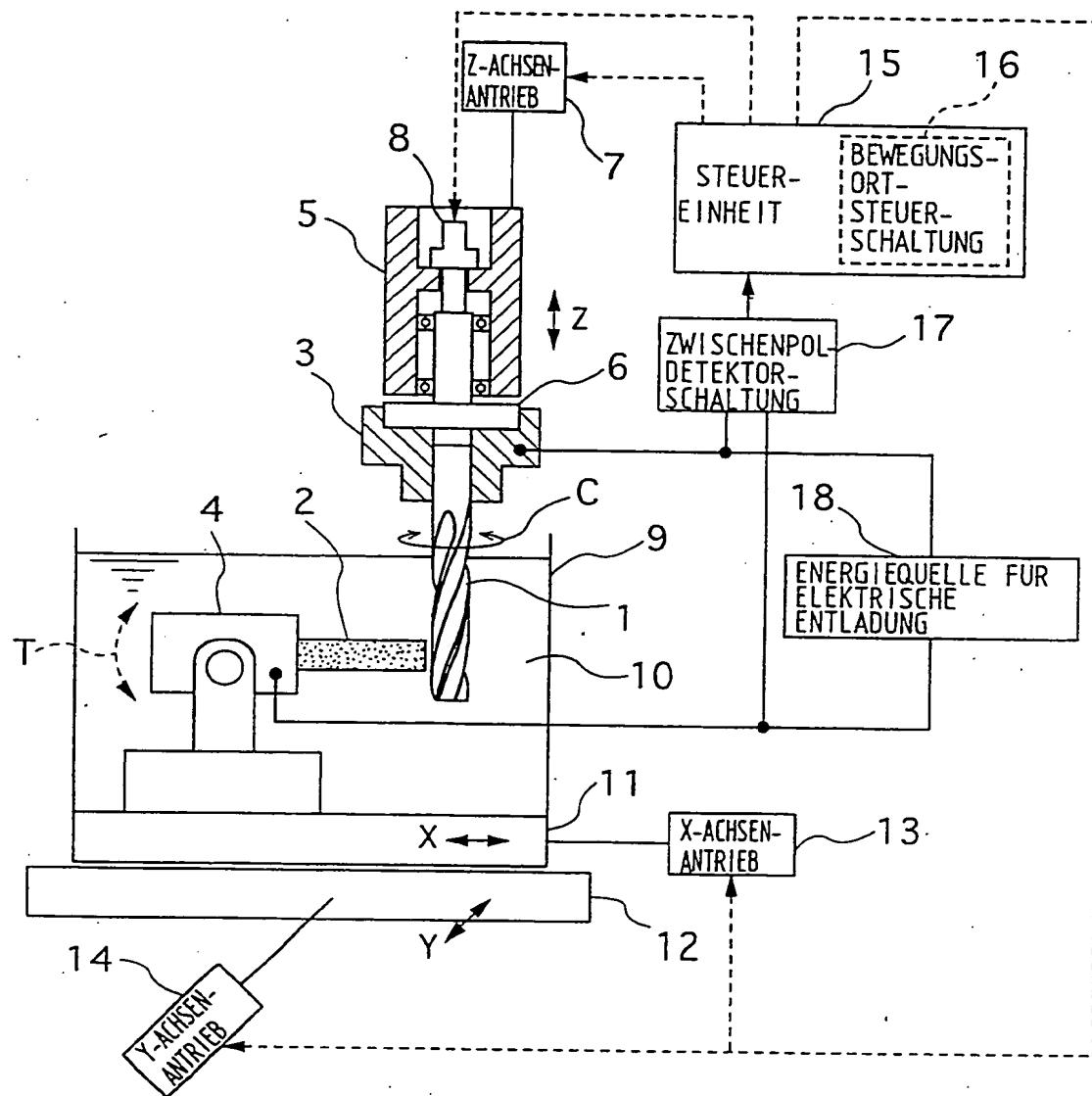


FIG.2

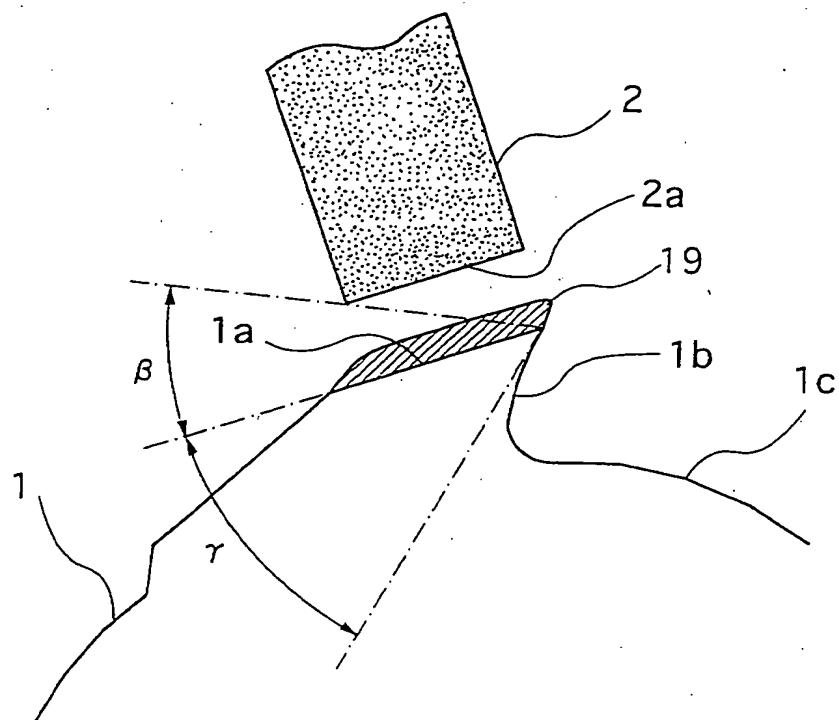


FIG. 3

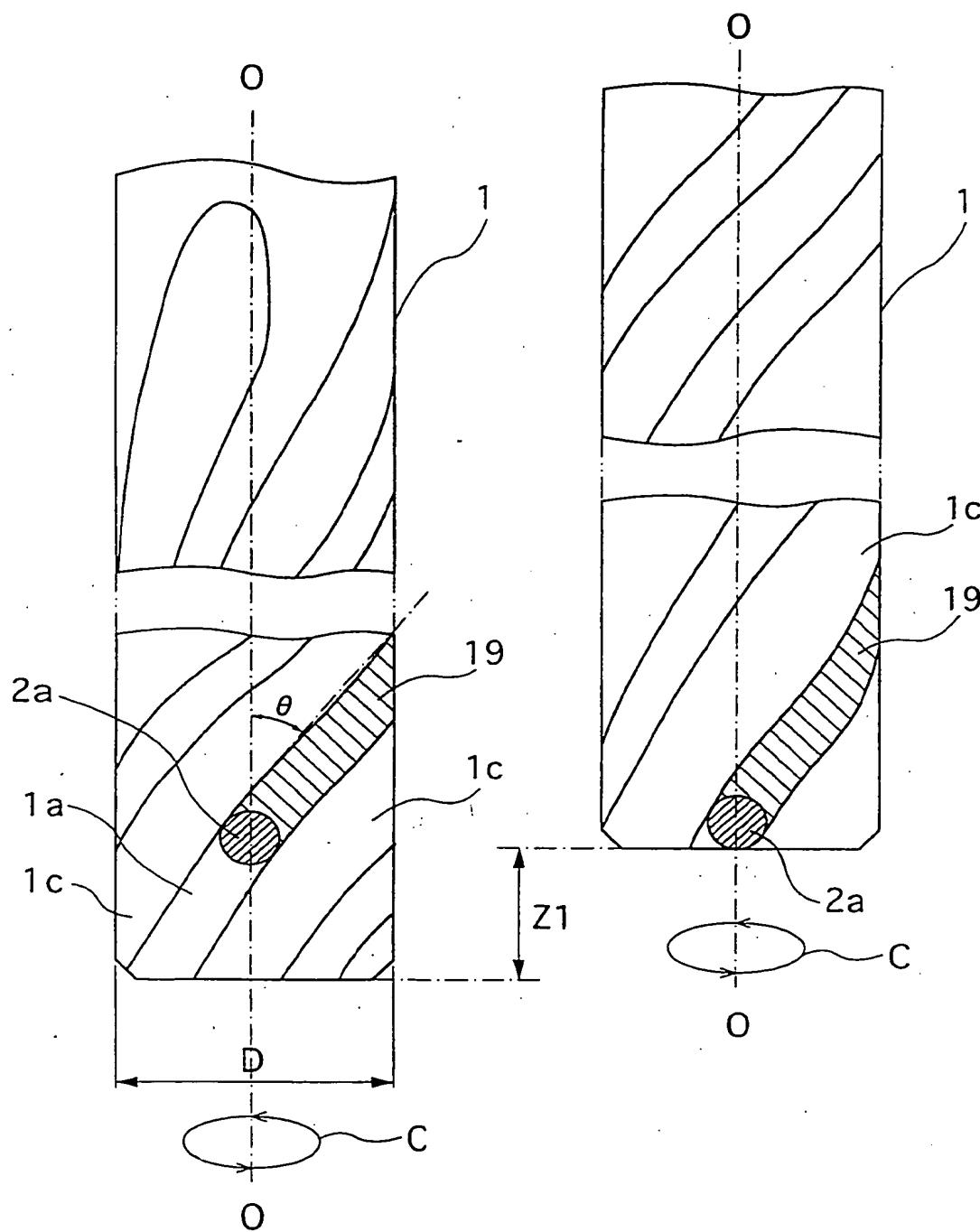


FIG.4

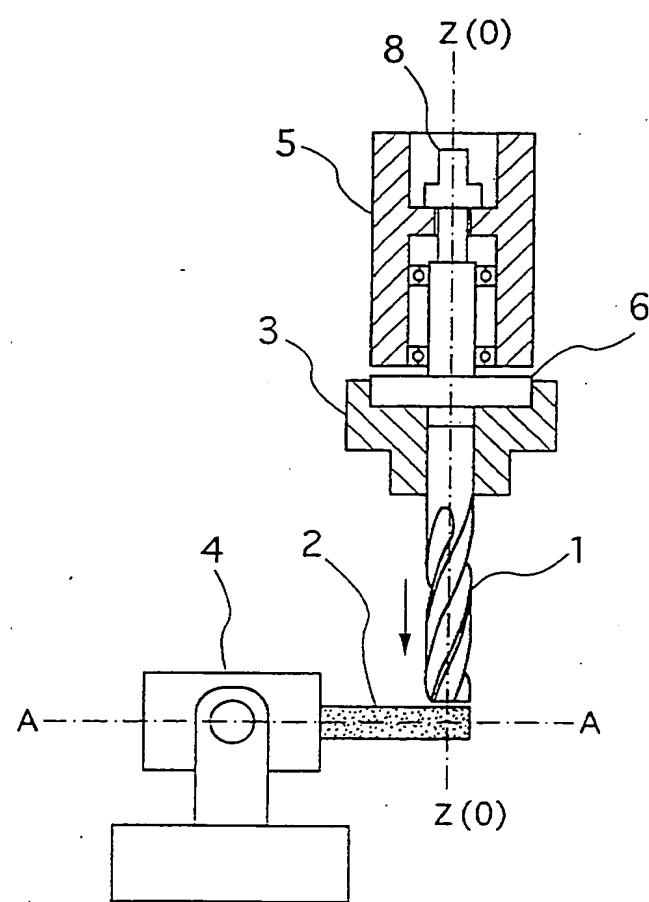


FIG.5

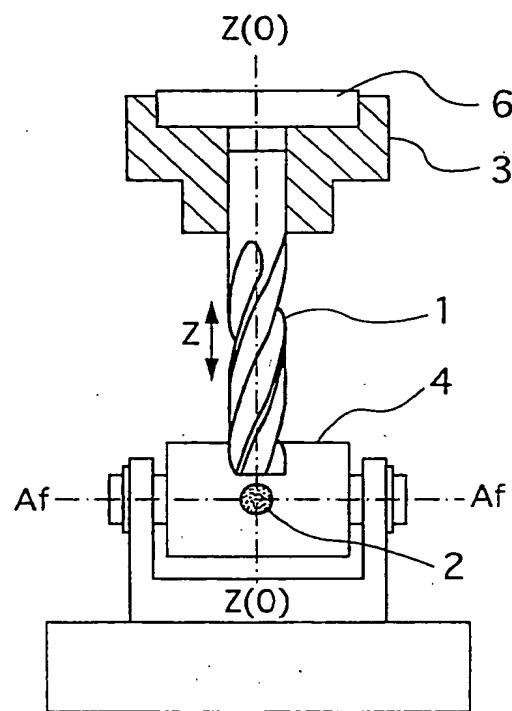


FIG.6

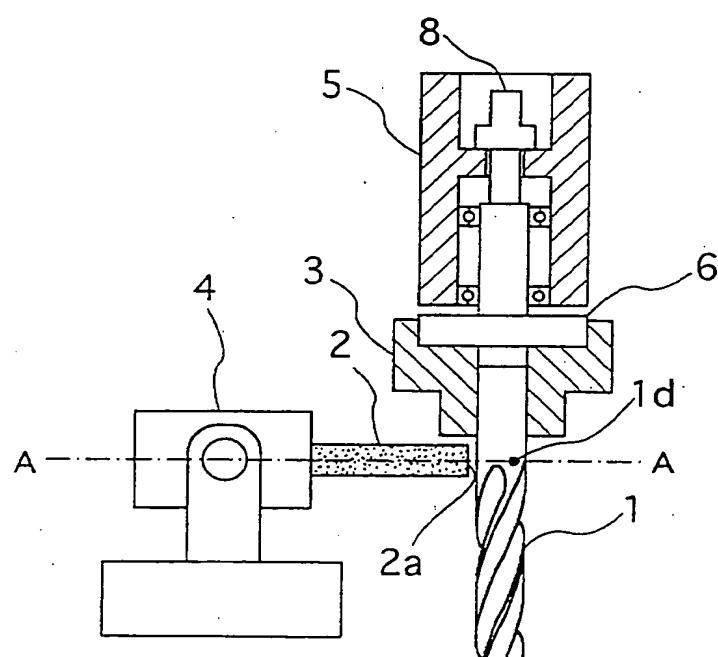


FIG.7

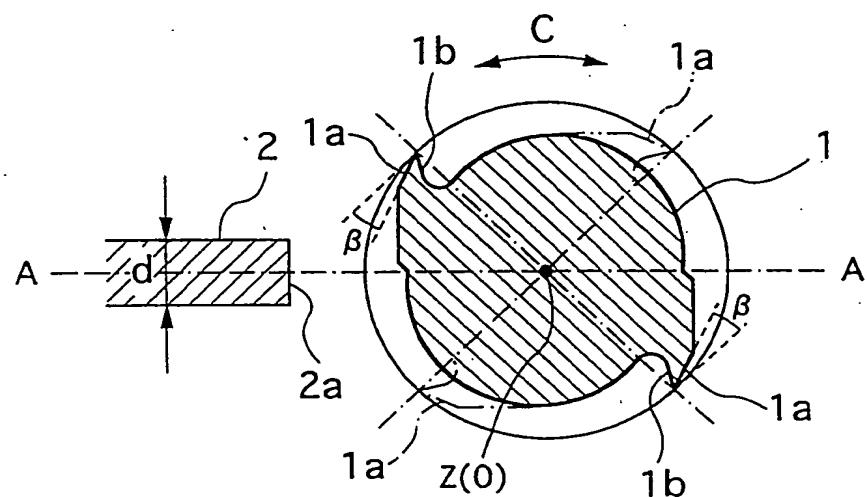


FIG.8

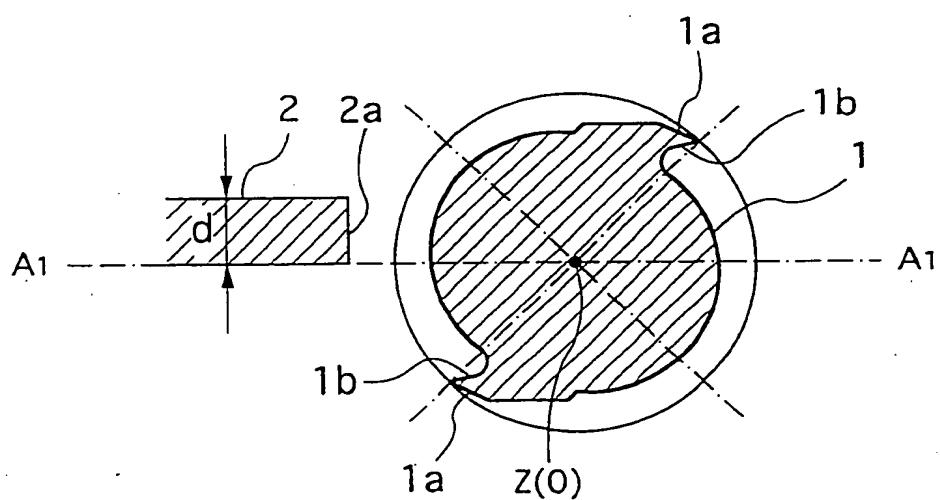


FIG.9

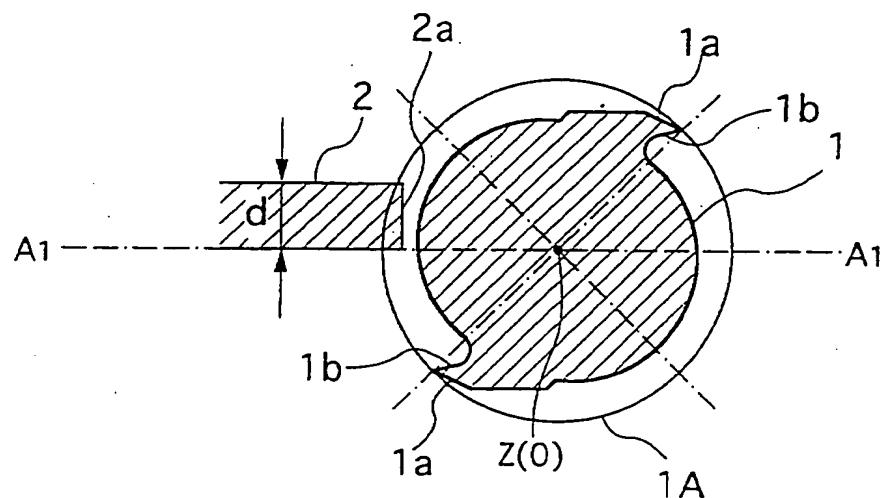


FIG.10

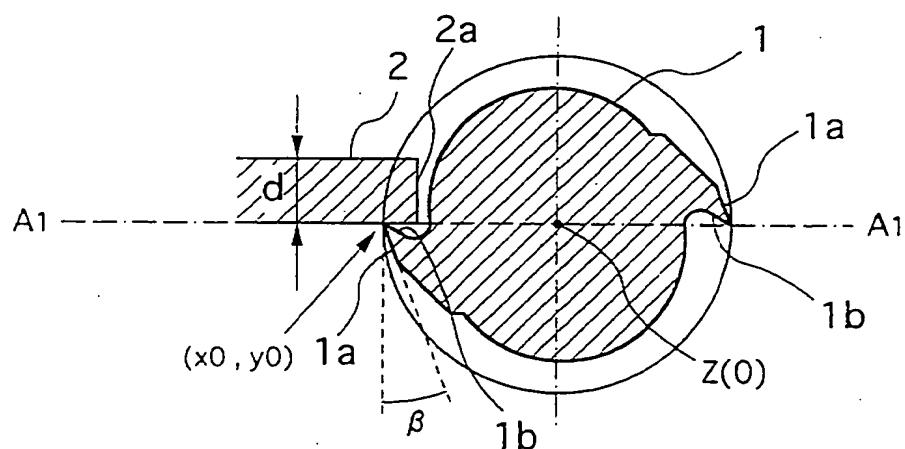


FIG.11

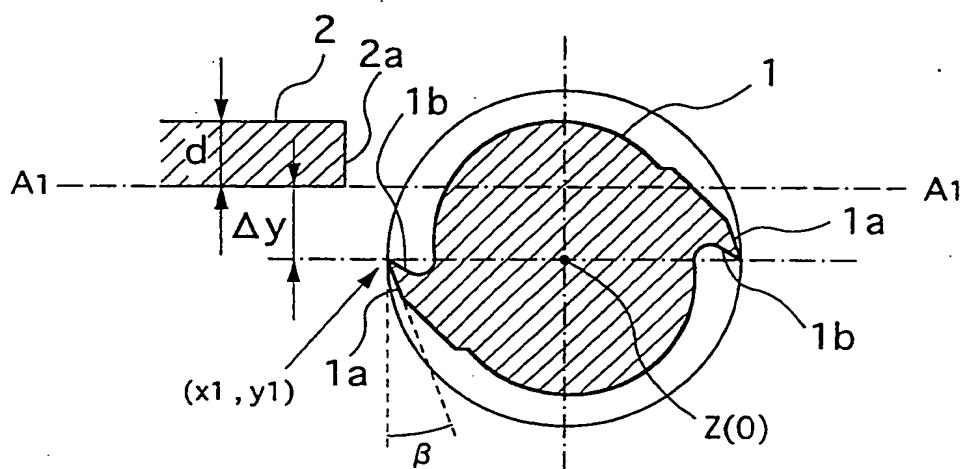


FIG.12

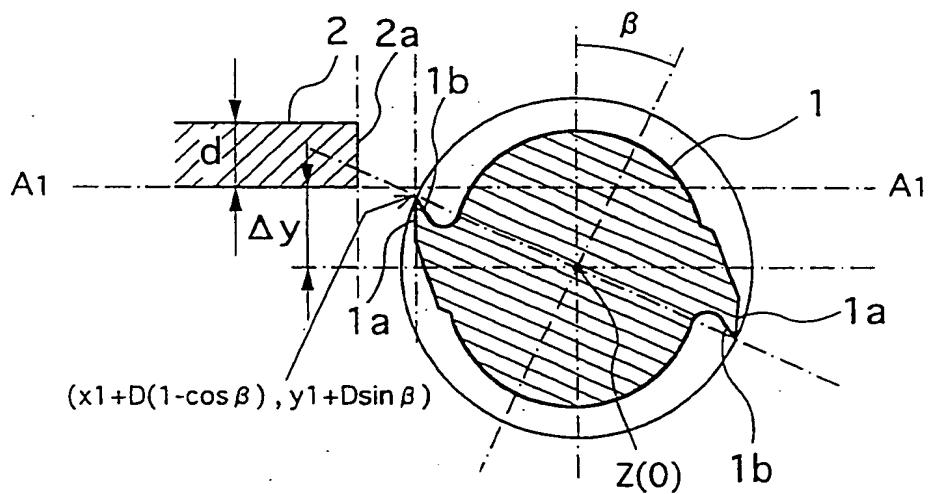


FIG.13

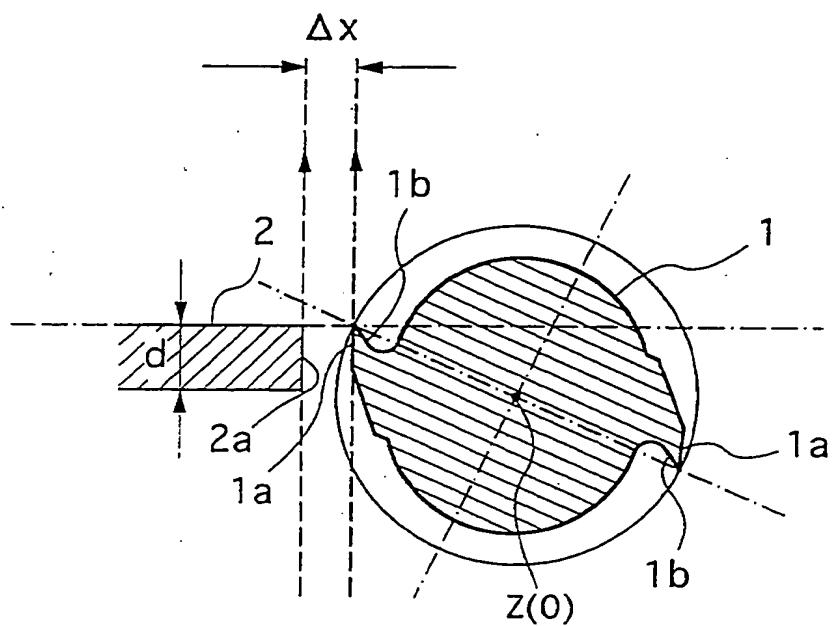


FIG.14

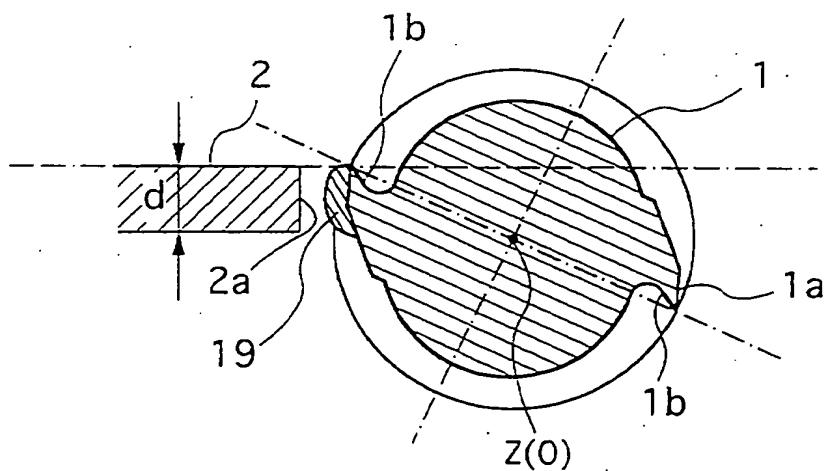


FIG. 15

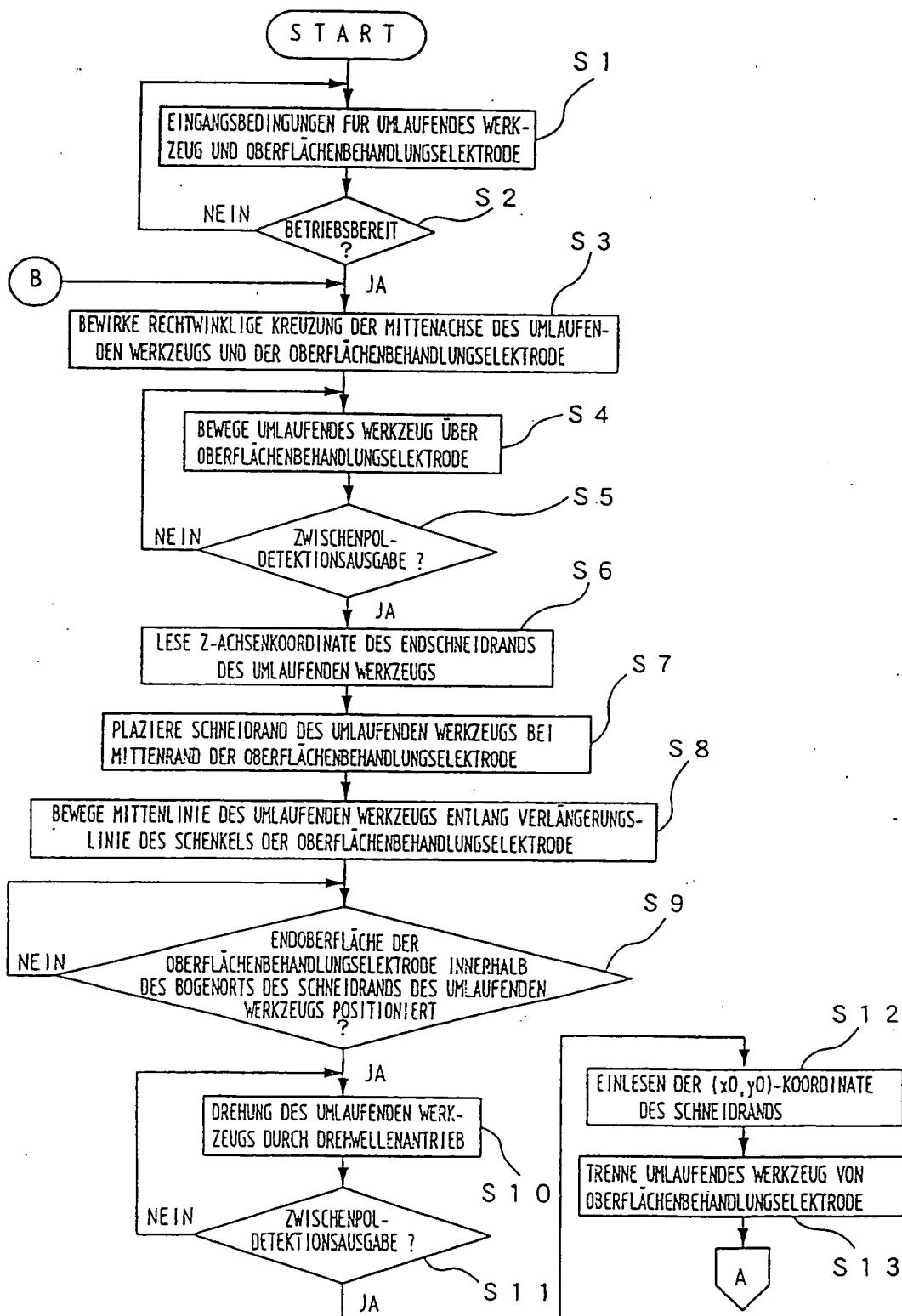


FIG. 16

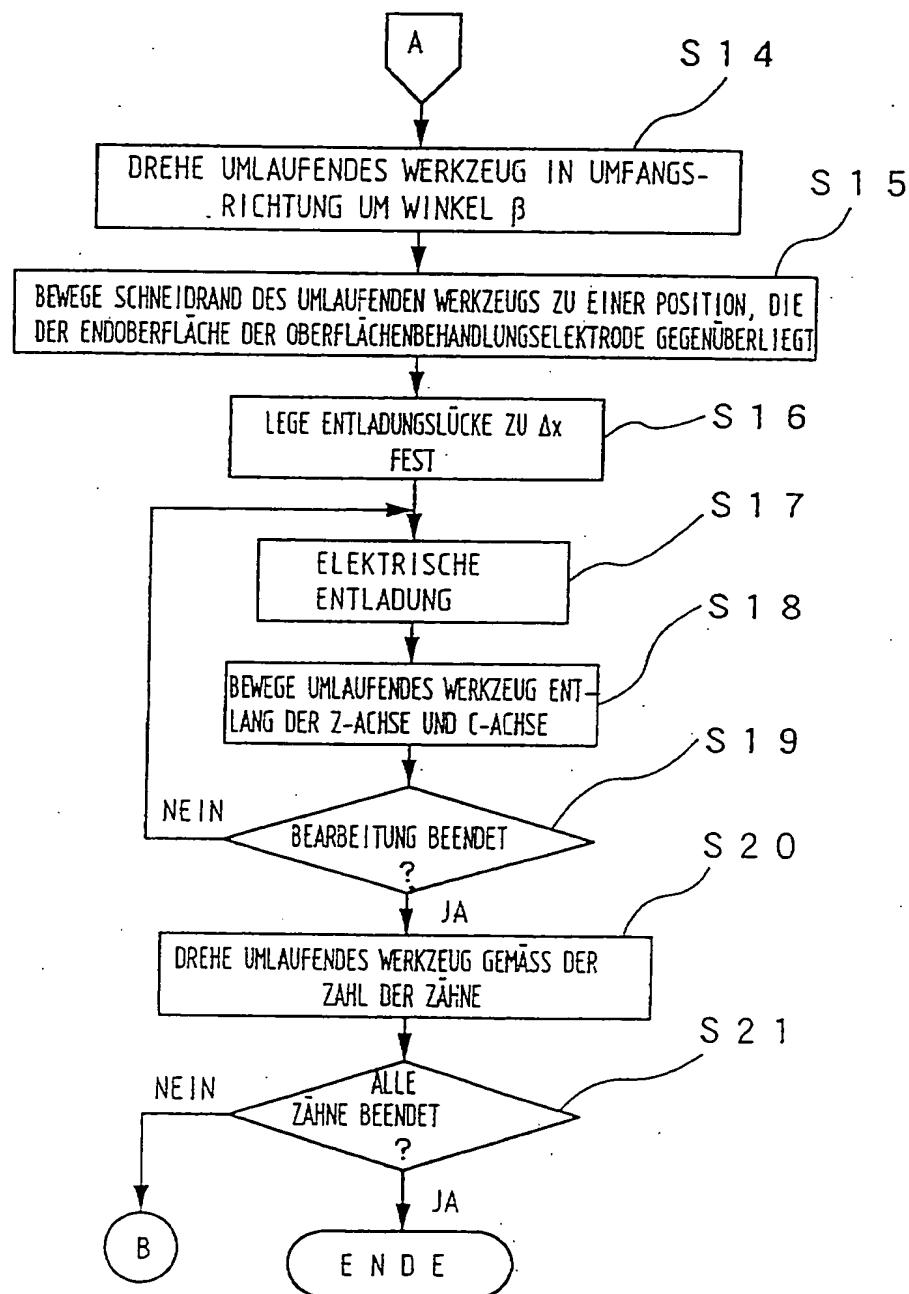


FIG. 17

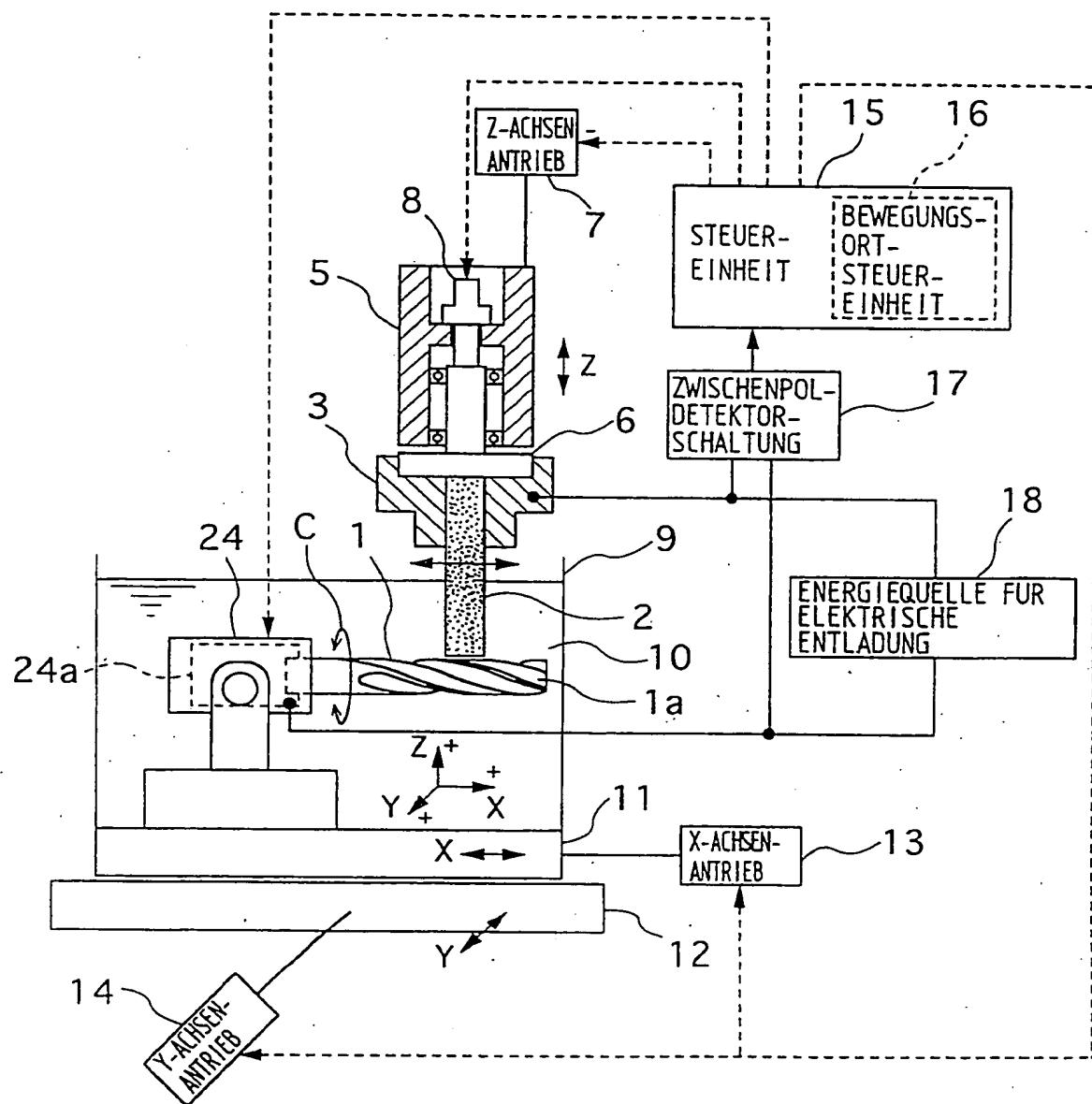


FIG. 18

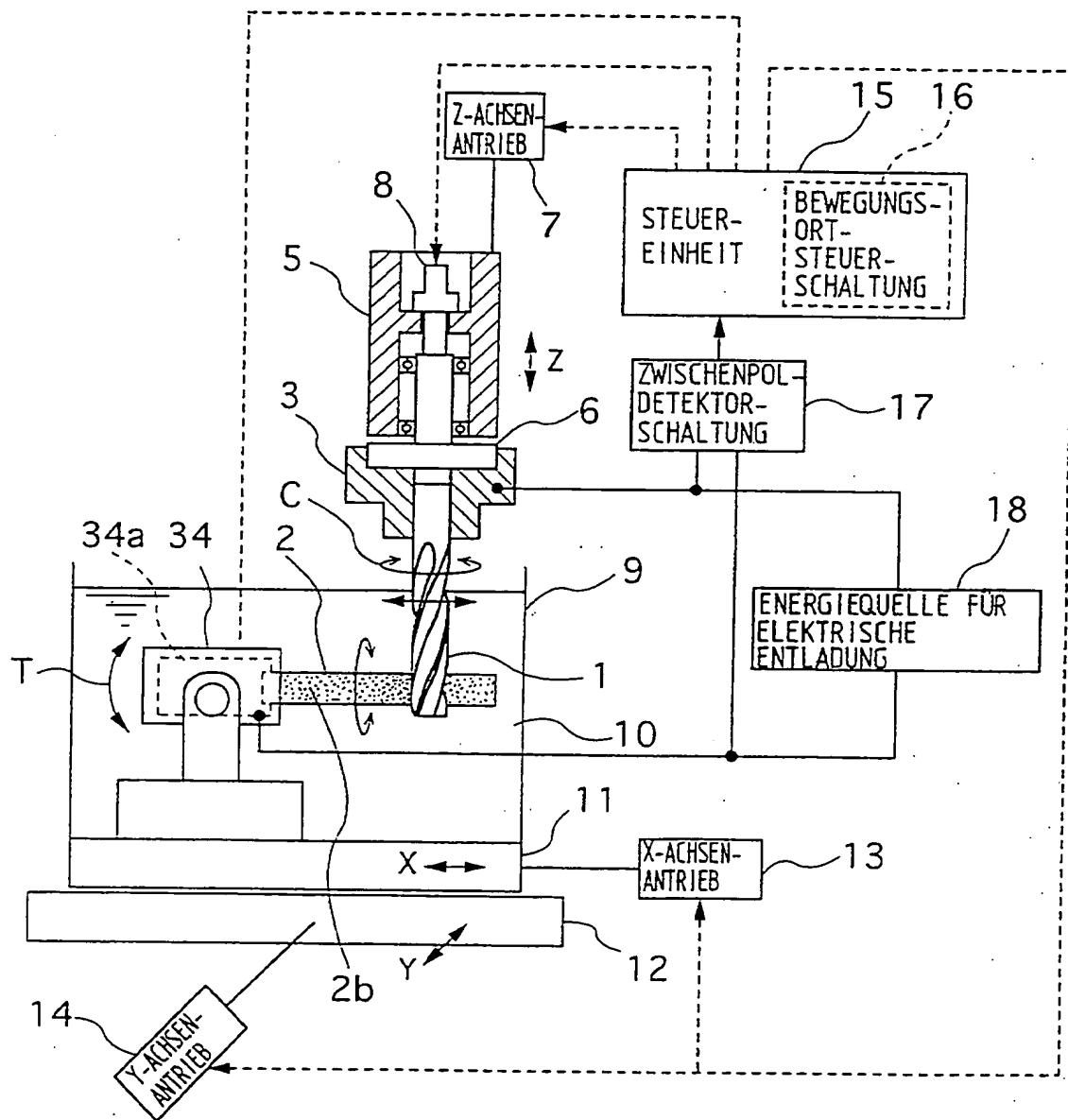


FIG.19

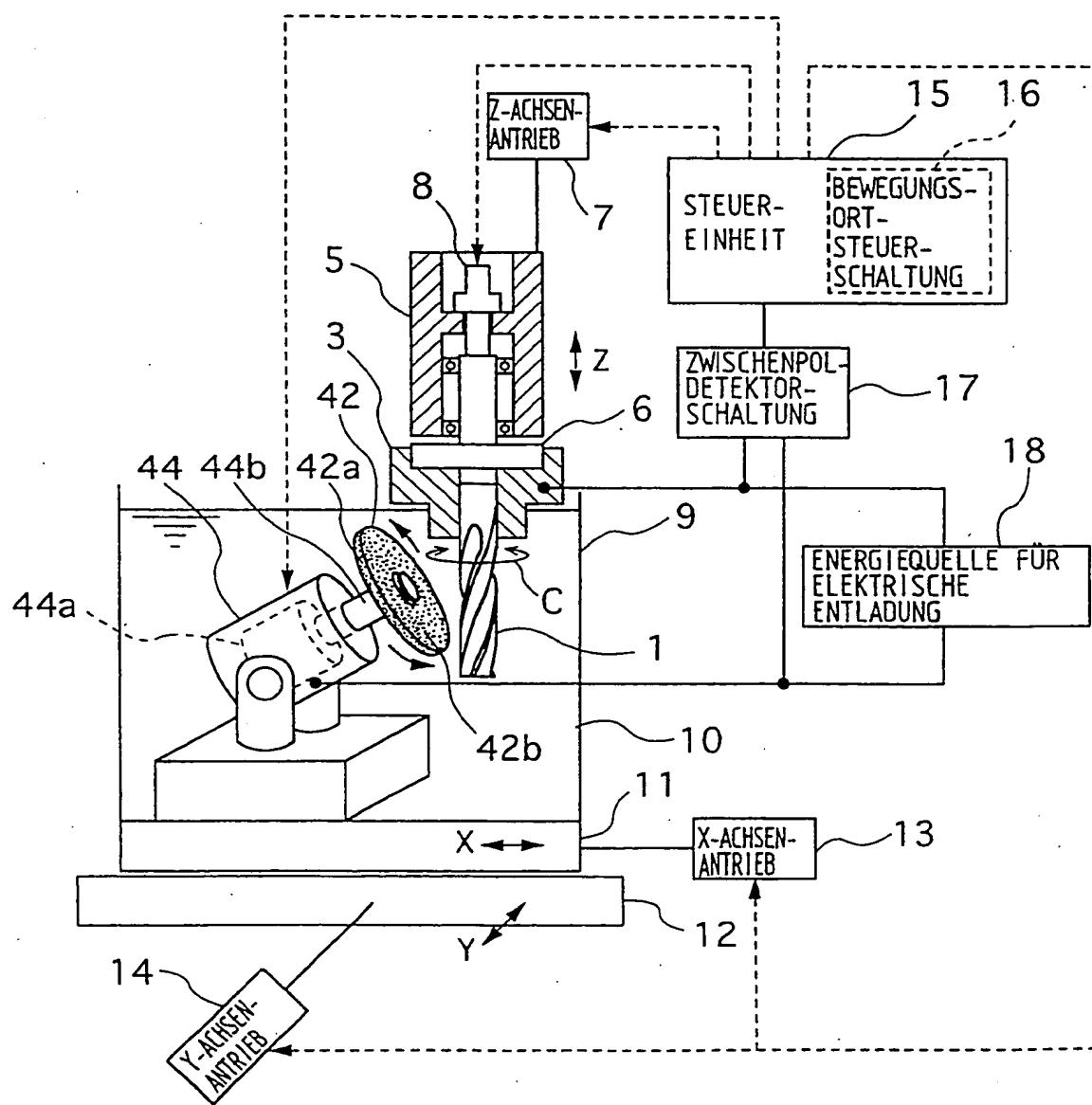


FIG.20

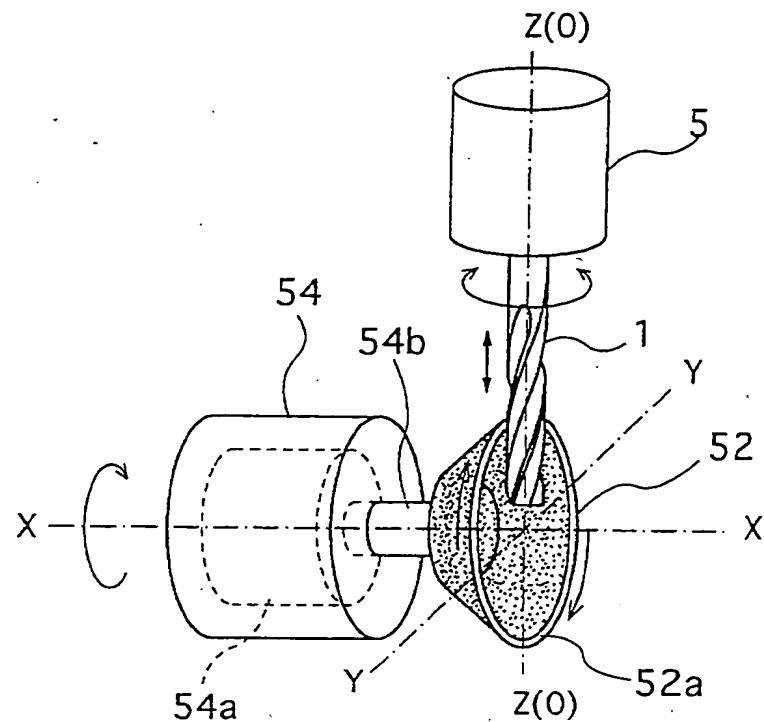


FIG.21

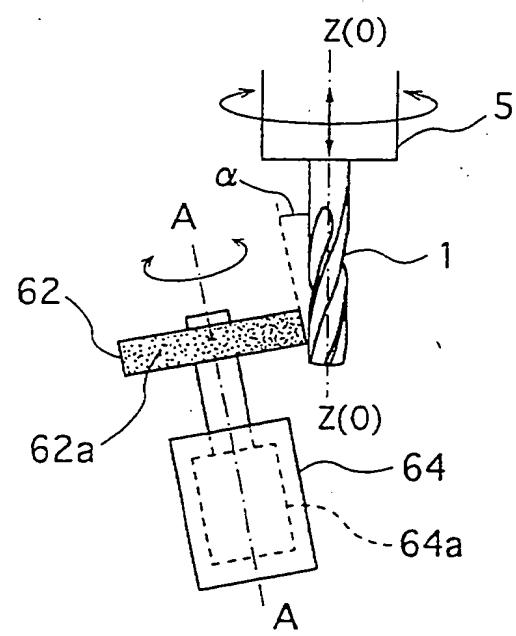


FIG.22

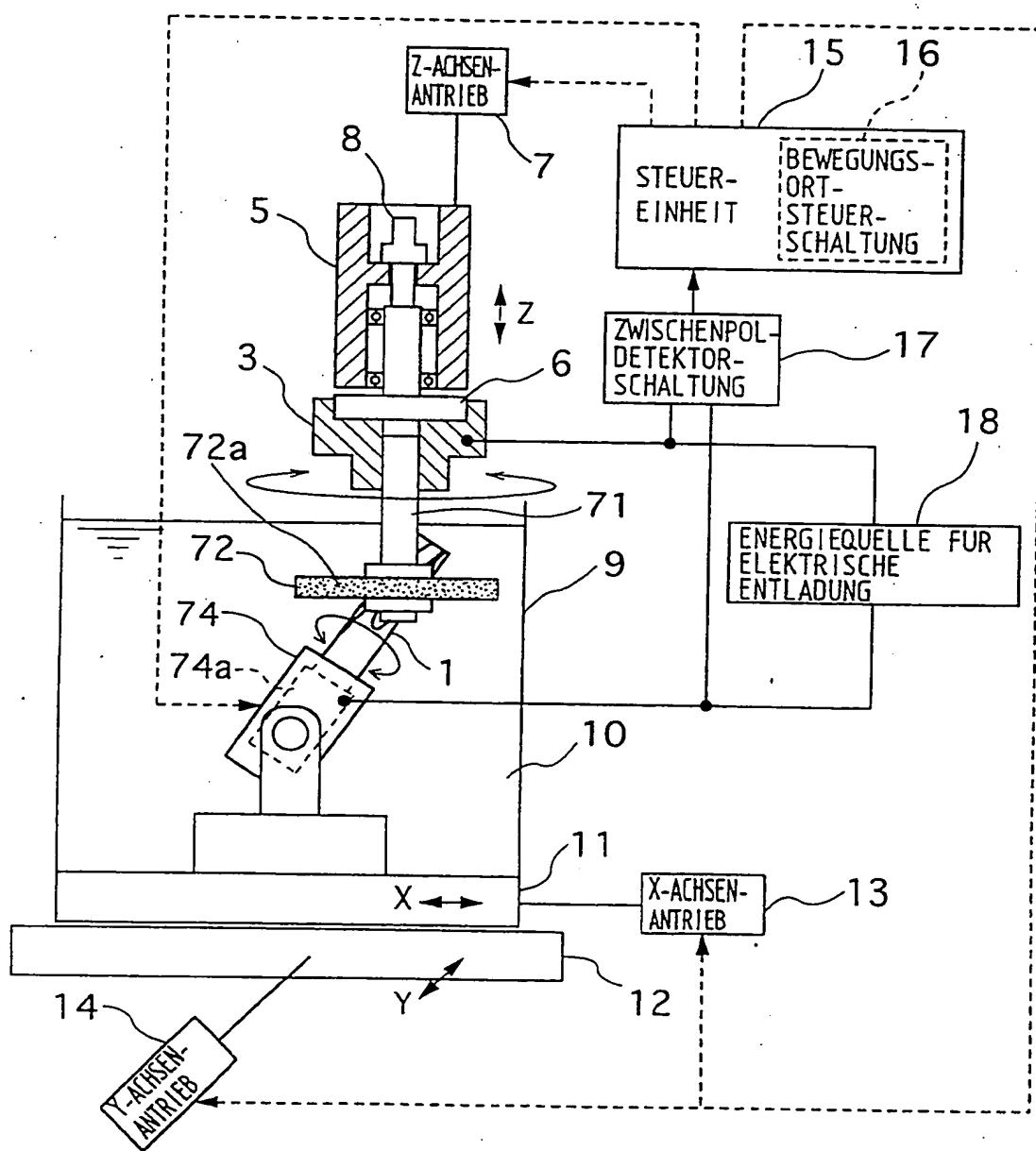


FIG.23

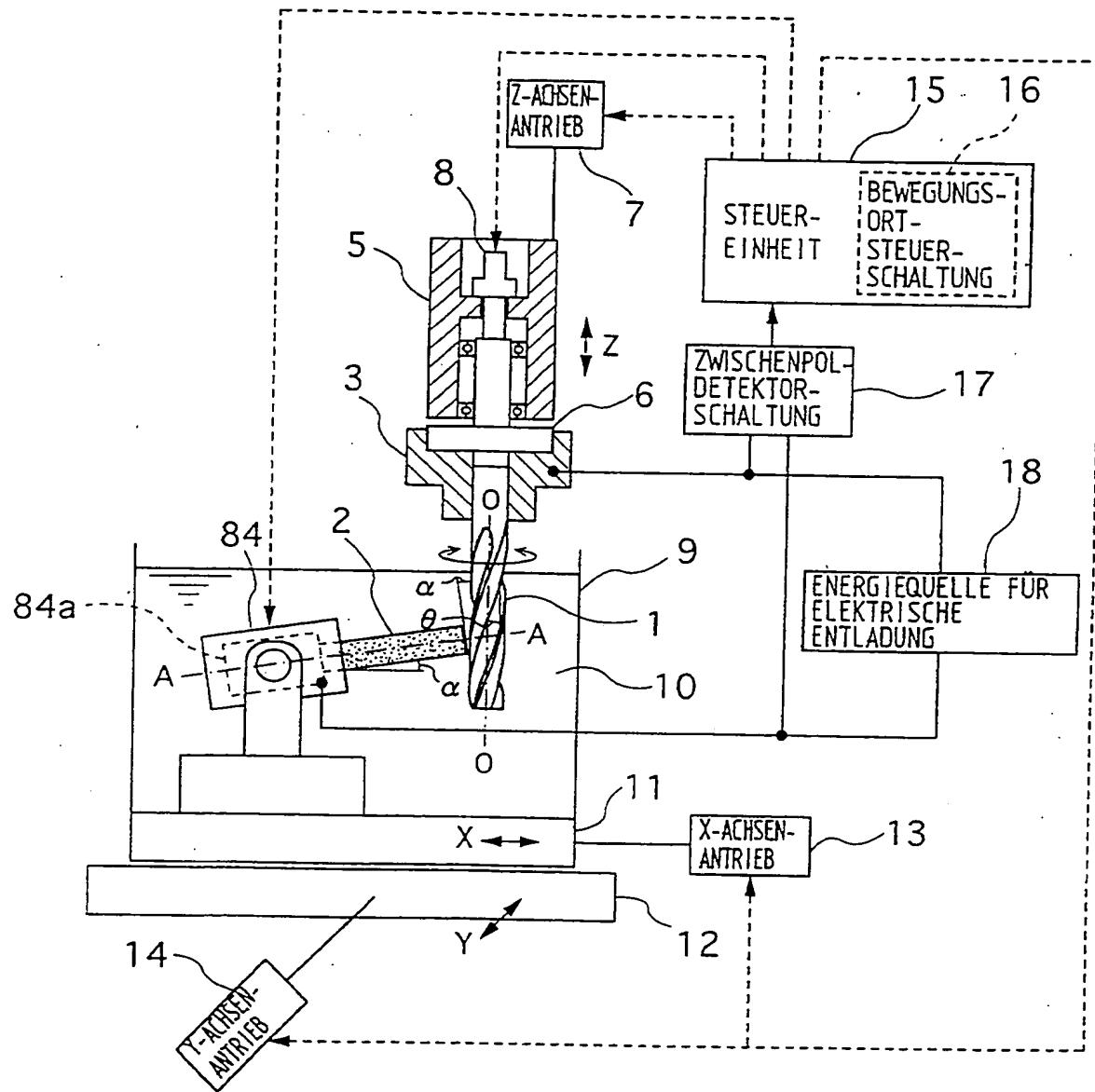


FIG.24

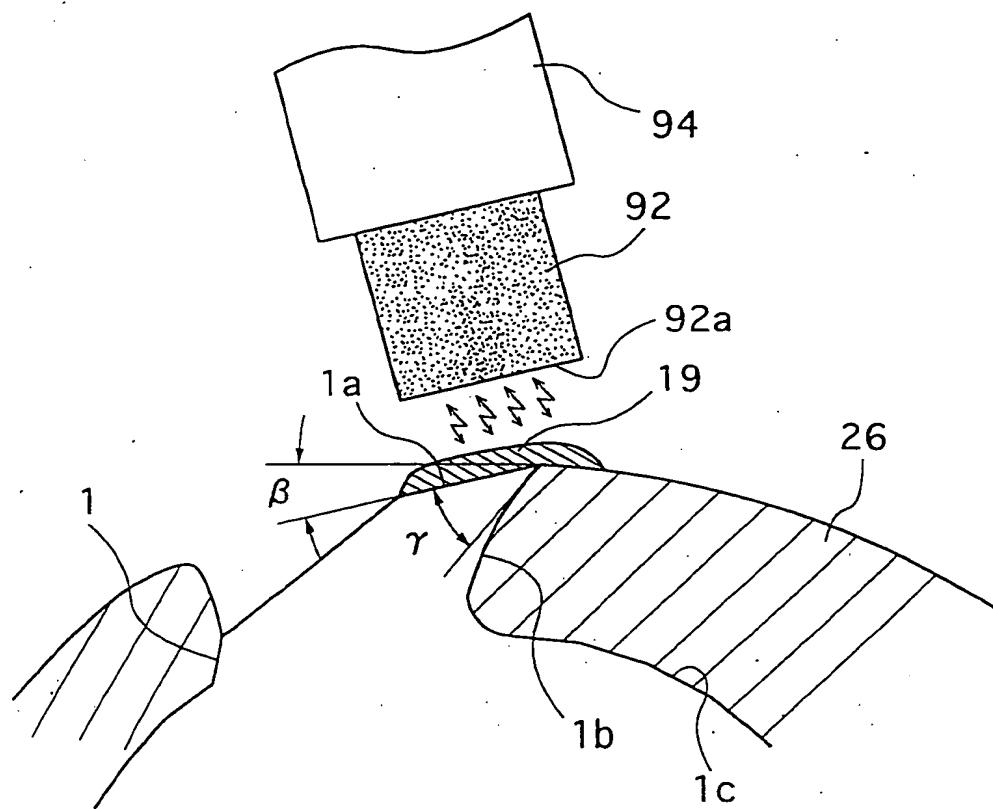


FIG.25  
(STAND DER TECHNIK)

